

Fonte energética alternativa para um trator para vinhas estreitas e com pendentes elevadas

Trabalho decorrido na empresa Engenhotec

Vitor Miguel Martins Ferreira Canedo

Dissertação do MIEM

Orientador na Empresa Engenhotec: Engenheiro Miguel Oliveira

Orientador na FEUP: Professor José Ferreira Duarte



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho de 2014

Resumo

Esta dissertação, decorrida em ambiente empresarial na empresa Engenhotec, tem como base o estudo de uma fonte energética alternativa para um trator de vinhas estreitas e inclinadas. O motivo deste estudo surge do tipo de vinhas existentes na Região Demarcada do Douro e das limitações que os tratores convencionais apresentam a trabalhar nas mesmas. Acresce a este facto a necessidade ambiental da redução de emissões de CO₂ e da busca de um combustível alternativo ao gasóleo.

Numa primeira instância, identificaram-se diferentes fontes energéticas e fez-se a comparação entre elas, a nível energético, de emissões e de custos.

Quanto ao veículo adaptado para trabalhar nas vinhas da Região Demarcada do Douro, estimou-se a força e potência necessárias para desempenhar as principais funções, determinou-se a potência máxima necessária para o veículo, a inclinação máxima a partir da qual ele perde tração e a capacidade necessária para a fonte energética, para as situações de rodas com pneus de borracha e rastos.

Por fim realizou-se a geração de conceitos, utilizando o método dos 5 passos (Five-Step Method), e, refletindo nas diferentes soluções, gerou-se uma proposta de conceito para o veículo.

Abstract

This dissertation, carried out in a business environment in the Engenhotec Company, is based on a study of an alternative energy source for a tractor for narrow vines on a slope. The reason for this study arises from the type of existing vines in the Douro wine Region and the limitations that conventional tractors have when working in these places, in addition to the environmental need for reducing CO_2 emissions and the search for an alternative fuel to diesel.

We first identified different energy sources and compared them in terms of energy level, emissions and costs.

As for the vehicle adapted to work on the vines of the Demarcated Region of the Douro, we estimated the force and power necessary to perform the core functions, we determined the maximum power needed for the vehicle, the maximum slope after which it loses traction and the capacity required for the energy source, for wheels with rubber tires and tracks.

Lastly we carried out the concept generation using the Five-Step Method, and after considering the different solutions we generated a proposal concept for the vehicle.

Agradecimentos

Dentro deste capítulo de agradecimentos pretendo referir as pessoas que me foram mais importantes não só durante o período do decorrer da dissertação, mas também aqueles que me apoiaram ao longo de todo o meu curso.

Fica aqui o meu reconhecimento para os meus colegas de curso e amigos: César Ferreira, João Amorim, Márcio Lopes, Pedro Nascimento e Juliana Marques, pelo companheirismo e apoio que me deram ao longo de todo o curso.

Agradeço aos meus pais pelo acompanhamento e apoio que me deram durante todo o meu percurso académico.

Agradeço ao Eng. Miguel Oliveira, orientador na empresa Engenhotec, pela disponibilidade e boa orientação dada no decorrer da dissertação e também pela cedência de um local de trabalho para o desenvolvimento deste estudo.

Agradeço também ao Prof. José Ferreira Duarte, orientador na faculdade, pela disponibilidade prestada e pelos conhecimentos transmitidos no decorrer desta dissertação.

Gostaria de agradecer a todos os membros do grupo de investigadores associados ao estudo de máquinas adaptadas a trabalhar no Douro, dos quais saliento: Eng. António Baptista, Eng. António Araújo, Eng. José Bessa Pacheco e Eng. Jean Pol Piquard, pelas opiniões e sugestões relevantes no âmbito deste projeto de investigação.

Ao Professor Fernando Santos, por ter disponibilizado informação importante e essencial, no decorrer deste projeto, sobre as máquinas agrícolas na visita à UTAD.

Por último deixo os meus agradecimentos a todos os restantes colegas de faculdade que tiveram um contributo importante na minha vida de estudante, sem as quais todo o meu percurso académico não teria sido o mesmo.

Conteúdo

Conteúdo	VII
Lista de Figuras	XI
Lista de Tabelas	XIII
Nomenclatura	XV
1 Introdução	1
1.1 Apresentação da Empresa Engenhotec	2
2 Fonte energética para a motorização	3
2.1 Gasolina	3
2.2 Gasóleo (diesel)	3
2.3 GPL	4
2.4 Biodiesel	5
2.5 Álcool	6
2.6 Gás Natural	7
2.7 Biogás	7
2.8 Hidrogénio	8
2.8.1 Hidrogénio num motor de combustão	8
2.8.2 Hidrogénio como célula de combustível (Fuel Cell)	8
2.9 Elétrico - Baterias	9
2.10 Ar comprimido	10
3 Comparação das diferentes fontes energéticas para a motorização	11
3.1 Análise <i>Well-to-Tank</i> (WTT)	11
3.1.1 Balanço energético e das emissões das fontes energéticas	11
3.1.2 Melhores soluções	13
3.2 Análise <i>Tank-to-Wheels</i> (TTW)	14
3.2.1 Balanço energético e das emissões das fontes energéticas	14
3.2.2 Melhores soluções	15
3.3 Análise <i>Well-to-Wheels</i> (WTW)	17
3.3.1 Balanço energético e das emissões das fontes energéticas	17
3.3.2 Melhores soluções	19
3.4 Preço das fontes energéticas	20
3.4.1 Gasolina, Gasóleo e GPL	20
3.4.2 Gasóleo agrícola	21
3.4.3 Biodiesel	21
3.4.4 Álcool	22
3.4.5 Gás natural	23

3.4.6	Hidrogénio	24
3.4.7	Eletricidade	25
3.4.8	Ar comprimido	25
3.5	Gasto com as fontes energéticas a cada 100km para diferentes motorizações	26
4	Jornadas técnicas	29
4.1	Jornada técnica na UTAD, CEVD e Quinta D. Matilde	29
4.2	Jornada técnica na Quinta do Noval	34
4.2.1	MultiJyp 1	34
4.2.2	MultiJyp 2	35
4.2.3	Características da Quinta do Noval	37
5	Principais tarefas a serem desempenhadas pelo veículo	39
5.1	Pré-poda	39
5.2	Desponta	40
5.3	Triturar sarmentos	41
5.4	Mobilização do solo	42
5.5	Pulverizar	43
5.6	Transporte	44
6	Consumo energético e autonomia	47
6.1	Força e potência necessárias para a movimentação do veículo e das alfaías	47
6.1.1	Alfaías	47
6.2	Tomada de Força	49
6.3	Bomba hidráulica	50
6.4	Determinação da potência máxima	51
6.4.1	Utilização de rodas com pneus de borracha	51
6.4.2	Utilização de rastos	56
6.5	Determinação da inclinação máxima	57
6.5.1	Utilização de rodas com pneus de borracha	57
6.5.2	Utilização de rastos	59
6.6	Determinação da capacidade da fonte energética	61
6.6.1	1ª abordagem: Em regime máximo	61
6.6.2	2ª abordagem: Análise sobre dados experimentais	62
7	Geração do conceito	67
7.1	<i>Five-Step Method</i>	68
7.2	<i>Clarify the problem</i>	68
7.3	<i>Search externally</i>	70
7.3.1	MultiJyp	70
7.3.2	New Holland (trator vinhateiro)	71
7.4	<i>Search internally</i>	72
7.4.1	Acumulador de energia elétrica	72
7.4.2	Conversão em energia mecânica para a movimentação do veículo	74
7.4.3	Conversão em energia mecânica para a tomada de força	76
7.5	<i>Explore systematically</i>	76
7.6	<i>Reflect on the solutions and the process</i>	78
7.6.1	Rendimento	78
7.6.2	Atravancamento do sistema	79
7.6.3	Massa	80
7.6.4	Preço	81

7.6.5	Fiabilidade, ergonomia e segurança	82
7.7	Proposta de conceito	82
8	Conclusão	87
	Referências	89
	ANEXOS	93
A	<i>Well-to-Tank (WTT)</i>	95
A.1	Gasolina e gasóleo	95
A.2	GPL	96
A.3	Biodiesel	97
A.4	Álcool	97
A.5	Gás Natural	98
A.6	Hidrogénio	99
A.6.1	Hidrogénio comprimido	99
A.7	Eletricidade	101
B	<i>Tank-to-Wheels (TTW)</i>	102
B.1	Características da motorização e combustíveis	102
B.1.1	Parâmetros da simulação	103
B.1.2	Configuração dos veículos e simulação	103
B.2	Resultados da configuração	107
C	Análise de protótipo preliminar	109
D	Especificações trator vinhateiro New Holland TK4020V	116

Lista de Figuras

3.1	Gráfico com a energia dos diferentes combustíveis (Análise WTT) [39]	12
3.2	Gráfico com emissões dos diferentes combustíveis (Análise WTT) [39]	13
3.3	Gráfico com a energia das diferentes motorizações e combustíveis (Análise TTW) [26]	15
3.4	Gráfico com emissões das diferentes motorizações e combustíveis (Análise TTW) [26]	15
3.5	Gráfico resumo da análise TTW [26]	17
3.6	Gráfico com a energia das diferentes motorizações e combustíveis (Análise WTW)	18
3.7	Gráfico com emissões das diferentes motorizações e combustíveis (Análise WTW)	19
3.8	Experiência de um utilizador de VGN (2007) [21]	23
4.1	Protótipo Pagani	29
4.2	MultiJyp - CEVD	30
4.3	MultiJyp - CEVD	31
4.4	MultiJyp - CEVD	31
4.5	Trator New Holland	32
4.6	Trator New Holland em subida	32
4.7	Trator New Holland em descida	33
4.8	Vinhas ao alto da Quinta Dona Matilde	33
4.9	Vinhas tradicionais da Quinta Dona Matilde	34
4.10	Quinta do Noval - vista com alguns patamares de vinhas	34
4.11	MultiJyp 1 - Quinta do Noval	35
4.12	MultiJyp 2 - Quinta do Noval	35
4.13	MultiJyp 2 - Quinta do Noval	36
4.14	Quinta do Noval - Vista de um patamar com 3 bardos	36
5.1	Pré-podadora utilizada no MultiJyp [3]	40
5.2	Despontadora [3]	41
5.3	Triturador de sarmentos [36]	42
5.4	Enxada mecânica [32]	43
5.5	Pulverizador [35]	44
5.6	Contentor basculante [3]	44
6.1	Curvas de potência e binário obtidas num tractor da UTAD [33]	49
6.2	Pressão da bomba para determinada potência do trator [29]	50
6.3	Caudal da bomba para determinada potência do trator [29]	51
6.4	Representação das forças resultantes de um trator num plano inclinado [34]	53
6.5	Potência à tração na utilização de rodas	59
6.6	Potência à tração na utilização de rodas	61

7.1	Five-Step Method [38]	68
7.2	Clarificação do problema	69
7.3	Refinamento do problema	69
7.4	Bateria Autosil 12V 100Ah	73
7.5	Célula de bateria: GEB 3.7V 11Ah [1]	73
7.6	Motor HPEVS AC-15 [12]	75
7.7	Motor EMRAX 207 [5]	75
7.8	Motor Bosch Rexroth A2FM [18]	76
7.9	Acumulador de energia elétrica	77
7.10	Conversão em energia mecânica para a movimentação	77
7.11	Conversão em energia mecânica para a tomada de força	78
7.12	Esboço de uma pessoa com 1.8m de altura e proposta do conceito	84
7.13	Proposta de conceito, vista lateral	85
7.14	Proposta de conceito, vista das células de bateria	85
A.1	Balanço energético da gasolina e diesel (WTT) [39]	95
A.2	Balanço das emissões da gasolina e diesel [39]	96
A.3	Balanço energético para produzir GPL [39]	96
A.4	Balanço das emissões para produzir GPL [39]	96
A.5	Balanço energético para produzir Biodiesel [39]	97
A.6	Balanço das emissões para produzir Biodiesel [39]	97
A.7	Balanço energético para produzir álcool a partir de outras matérias-primas [39]	98
A.8	Balanço das emissões para produzir álcool a partir de outras matérias-primas [39]	98
A.9	Balanço energético para produzir o gás natural [39]	98
A.10	Balanço das emissões para produzir o gás natural [39]	99
A.11	Balanço energético para produzir hidrogénio comprimido [39]	99
A.12	Balanço energético para produzir hidrogénio comprimido a partir de carvão e madeira [39]	100
A.13	Balanço das emissões para produzir hidrogénio comprimido [39]	100
A.14	Balanço das emissões para produzir hidrogénio comprimido a partir de carvão e madeira [39]	100
A.15	Balanço energético para produzir eletricidade [39]	101
A.16	Balanço das emissões para produzir eletricidade [39]	101
B.1	Ciclo de referência NEDC [26]	103

Lista de Tabelas

3.1	Balanco energético e das emissões das fontes energéticas (WTT) [39]	12
3.2	Balanco energético e das emissões das fontes energéticas (TTW) [26]	14
3.3	Balanco energético e das emissões das fontes energéticas (WTW)	18
3.4	Preço dos combustíveis convencionais (gasolina 95 e Gasóleo) [7]	20
3.5	Preço por litro do GPL [7]	21
3.6	Preços de referência da Combustoil (BP) [15]	21
3.7	Preços de referência da marca Prio [16]	22
3.8	Preços de referência da marca Oleofat [16]	22
3.9	Média dos preços dos combustíveis (Gasolina, Gasóleo e Biodiesel) dos Estados Unidos da América	22
3.10	Média dos preços dos combustíveis (Gasolina, Álcool e Gasóleo) dos estados de Rio de Janeiro, Brasília e Petrópolis [20]	23
3.11	Média dos preços dos combustíveis (Gasolina, Álcool e GNV) dos estados de Mato Grosso, Goiás, São Paulo e Paraná [20]	23
3.12	Tributação de energia (2011) [22]	24
3.13	Preço de energia ativa €/kWh (EDP) [4]	25
3.14	Propriedades dos combustíveis [26]	26
3.15	Quadro resumo do custo com as fontes energéticas para diferentes motorizações	27
6.1	Força de tração utilizando a charrua [37]	48
6.2	Força de tração utilizando o escarificador [37]	48
6.3	Valores do coeficiente de resistência ao rolamento [29]	52
6.4	Valores de escorregamento e eficiência à tração [29]	52
6.5	Valores do coeficiente de tração para rodas com pneus de borracha [34]	52
6.6	Valores do coeficiente de resistência ao rolamento e de tração [29]	56
6.7	Resultados obtidos para a massa do veículo de 800 kg, utilizando rodas com pneus de borracha	58
6.8	Resultados obtidos para a massa do veículo de 1000 kg, utilizando rodas com pneus de borracha	58
6.9	Resultados obtidos para a massa do veículo de 1200 kg, utilizando rodas com pneus de borracha	59
6.10	Resultados obtidos para a massa do veículo de 800 kg, utilizando rastos	60
6.11	Resultados obtidos para a massa do veículo de 1000 kg, utilizando rastos	60
6.12	Resultados obtidos para a massa do veículo de 1200 kg, utilizando rastos	60
6.13	Massa da fonte energética	62
6.14	Protótipo Chappot - Características do equipamento [27]	63
6.15	Tempos de trabalho e consumo [27]	63
6.16	Massa e capacidade da fonte energética	65
6.17	Custo com a fonte energética para 500h de trabalho	65

A.1	Energia e GHG da gasolina e diesel (WTT) [39]	95
B.1	Critérios de performance do veículo [26]	102
B.2	Simulações configuradas [26]	103
B.3	Balanço mássico para motores de combustão interna [26]	104
B.4	Balanço mássico para veículos xEV [26]	104
B.5	Especificações do motor de combustão interna a gasolina (veículo de 2010) [26]	105
B.6	Especificações do motor de combustão interna a diesel [26]	105
B.7	Especificações do motor PISI a operar com combustíveis alternativos (veículos de 2010) [26]	106
B.8	Especificações do motor DISI a operar com combustíveis alternativos (veículos de 2010) [26]	106
B.9	Especificações dos componentes do motor xEV para diferentes configurações (veículos de 2010) [26]	106
B.10	Resultados da simulação para os veículos com apenas motor de combustão interna [26]	107
B.11	Resultados da simulação do veículo elétrico híbrido [26]	107
B.12	Resultados da simulação do veículo elétrico híbrido plug-in [26]	108
B.13	Resultados da simulação do veículo elétrico com extensor de bateria [26]	108
B.14	Resultados da simulação do veículo elétrico a baterias [26]	108
B.15	Resultados da simulação do veículo elétrico a célula de combustível [26]	108

Nomenclatura

BEV Battery Electric Vehicle.

CO₂ Dióxido de Carbono.

DICI Direct Injection Compression Ignition.

DISI Direct Injection Spark Ignition.

FCEV Fuel Cell driven Electric Vehicle.

GPL Gás de Petróleo Liquefeito.

Li-ion Lithium-ion.

Ni-Cd Nickel–Cadmium.

Ni-MH Nickel–Metal Hydride.

NO_x Mistura de vários óxidos de azoto emitidos pela fonte de combustão.

PHEV Plug-In Hybrid Electric Vehicle.

PISI Port Injection Spark Ignition.

REEV Range Extender Electric Vehicle.

SI Spark Ignition.

TDF Tomada de Força.

TTW Tank-to-Wheels.

VRLA Valve-Regulated Lead-Acid.

WTT Well-to-Tank.

WTW Well-to-Wheels.

Capítulo 1

Introdução

O objectivo desta dissertação, do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica (MIEM), do ramo da Produção, Desenvolvimento e Engenharia Automóvel, é do estudo de uma fonte energética alternativa para um trator para vinhas estreitas e com pendentes elevadas. O desenvolvimento desta dissertação, decorre em ambiente empresarial na empresa Engenhotec.

O motivo deste estudo surge do tipo de vinhas existentes na Região Demarcada do Douro e das limitações que os tratores convencionais apresentam a trabalhar nestas, já que são demasiado largos para trabalhar nos patamares desta região. Existe também a necessidade ambiental da redução de emissões de CO_2 e da busca de um combustível alternativo ao gasóleo.

Numa primeira instância identifica-se diferentes fontes energéticas e faz-se a comparação entre elas, a nível energético, de emissões e de custos. Neste tópico faz-se a análise energética desde a obtenção da fonte energética até ao consumo no próprio veículo para diferentes motorizações e combustíveis.

Realizaram-se algumas jornadas técnicas com o objectivo de se obter informação importante no decorrer deste projecto, nomeadamente sobre o características do terreno da Região Demarcada do Douro, com pendentes elevadas e irregularidades e veículos adaptados utilizados naquela região, como o caso do MultiJyp da marca Chapot.

Quanto ao projeto de um novo veículo adaptado para trabalhar nas vinhas da Região Demarcada do Douro, realizam-se cálculos para estimar a força e potência necessárias para algumas tarefas do veículo, determinar a potência máxima necessária para o veículo, a inclinação máxima a partir da qual ele perde força de tração e a capacidade necessária para a fonte energética, para os casos de rodas com pneus de borracha e rastros (lagartas metálicas). Por fim, recorrendo ao método dos 5 passos (Five-Step Method), realiza-se a geração de conceitos e refletindo nas diferentes soluções gera-se uma proposta de conceito mais adequada para o veículo do estudo em causa.

Assim, esta dissertação encontra-se estruturado da seguinte forma:

- Fonte energética para a motorização
- Comparação das diferentes fontes energéticas para a motorização
- Jornadas técnicas

- Principais tarefas a serem desempenhadas pelo veículo
- Consumo energético e autonomia
- Esboço de conceito para a arquitectura do veículo

1.1 Apresentação da Empresa Engenhotec

A Engenhotec é uma empresa de prestação de serviços de Engenharia, na área da prototipagem e ferramentas do produto. Possui uma oficina com centros de maquinação CNC, situada na freguesia de Valbom no concelho de Gondomar, para a execução de protótipos, ferramentas e apoio ao desenvolvimento do produto.

Capítulo 2

Fonte energética para a motorização

Para a motorização de um veículo existem diferentes fontes energéticas possíveis, cada uma delas condiciona o tipo de motor a utilizar. Neste capítulo é feita uma pequena introdução a diferentes fontes energéticas para a motorização, começando por enunciar as mais usuais (gasolina e gasóleo) e de seguida aborda-se algumas fontes alternativas, como o GPL, biodiesel, gás natural, álcool, biogás, ar comprimido e a solução elétrica.

2.1 Gasolina

A gasolina é um produto da destilação fracionada do petróleo bruto que contém inúmeros hidrocarbonetos com temperaturas de ebulição variando entre 25°C e 250°C.

A característica mais importante dos combustíveis utilizados em motores de ignição por faísca é o índice de octanas (também conhecido por poder antidetonante), que é o índice de resistência à detonação de combustíveis usados em motores no ciclo de Otto. Esta propriedade vai determinar a taxa de compressão possível neste tipo de motores e também, indiretamente, a sua velocidade de combustão. Assim, um combustível com elevado índice de octano tem a possibilidade de queimar mais eficientemente, pois pode ser utilizado num motor com elevada taxa de compressão. [30]

Em Portugal, a gasolina não contém nenhum biocombustível na mistura, ao abrigo do Decreto Lei N°142/2010 de 31 de Dezembro nos pontos 8 e 9 do Artigo 5°.

Propriedades da gasolina (95 octanas) [26]:

- Densidade: 745 kg/m^3
- Valor energético: 43.2 MJ/kg
- Factor de emissões de CO_2 : 73.4 g/MJ

2.2 Gasóleo (diesel)

O gasóleo é um produto de destilação fracionado do petróleo bruto contendo inúmeros hidrocarbonetos com temperaturas de ebulição variando entre 180°C e 360°C. Ao contrário da gasolina, o combustível a usar no motor de ignição por compressão deve ser facilmente auto-inflamável, esta é uma das características mais importantes do gasóleo e determina-se com o denominado índice de cetano (IC), que representa a facilidade do combustível em auto-inflamar-se. Esta capacidade de auto-inflamação determina o chamado atraso de inflamação que é o intervalo do tempo entre início da injeção e início da combustão.

Os valores correntes de índice de cetano situam-se por volta do valor 50, sendo desejáveis valores superiores a este, de modo a proporcionar funcionamento suave e baixas emissões poluentes. Sabe-se que o aumento do índice de cetano em combustíveis derivados do petróleo implica uma diminuição do poder calorífico do combustível (ao contrário do índice de octano), pelo que não interessa aumentar o índice de cetano além de determinado valor, pois o consumo de combustível aumentaria.

A densidade do gasóleo é superior à da gasolina o que origina menor consumo (quando medido em volume), mas pode variar significativamente de combustível para combustível. O gasóleo deverá possuir propriedades lubrificantes, necessárias para manter as bombas e injetores em bom estado.

Enquanto que a temperatura de auto-inflamação da gasolina é bastante superior à de vaporização, no caso do gasóleo tal não se verifica, pois à temperatura de inflamação não é possível vaporizar a totalidade dos seus componentes. A 250°C cerca de 50% pode ser vaporizado, enquanto que somente perto dos 400°C se dará a vaporização total.

O gasóleo tem um teor de enxofre superior ao da gasolina, pretende-se diminuir este valor para a remoção eficiente do NO_x dos gases de escape em misturas pobres. No respeitante ao poder calorífico, ele pode variar (5%) levemente dentro do mesmo tipo de combustível, podendo-se considerar o mesmo valor usado para a gasolina ou um pouco mais baixo. [30]

Nos tratores, o combustível que é normalmente usado é o gasóleo agrícola. O gasóleo agrícola, relativamente ao gasóleo rodoviário, difere apenas pela sua coloração verde (colorido) e por possuir um aditivo de natureza química (traçador) que permite ser facilmente detetado mesmo que tenha sido descolorido. [9]

Em Portugal, a partir de 2010, todo o gasóleo comercializado que é utilizado nos veículos incorpora 7% de biodiesel na mistura (B7), ao abrigo do Decreto Lei N°142 /2010 de 31 de Dezembro nos pontos 6 e 7 do artigo 7º.

Propriedades do gasóleo [26]:

- Densidade: 832 kg/m^3
- Valor energético: 43.1 MJ/kg
- Factor de emissões de CO_2 : 73.2 g/MJ

2.3 GPL

O GPL apresenta uma alternativa à utilização da gasolina nos motores de combustão interna, com ignição por faísca.

O GPL poupa o ambiente porque tem emissões mais reduzidas de gases nocivos para a atmosfera.

Comparativamente com a gasolina, o GPL apresenta: [10]

- Redução das emissões de NO_x ;
- Menos de 85% de gases nocivos para camada de ozono;
- Redução de 10% das emissões de CO_2 ;
- Redução do nível de hidrocarbonetos.

Propriedades do GPL [26]:

- Densidade: 550 kg/m^3
- Valor energético: 46.0 MJ/kg
- Factor de emissões de CO_2 : 65.7 g/MJ

2.4 Biodiesel

O biodiesel é uma fonte energética alternativa para a motorização de um motor diesel, cuja ignição é por compressão. O biodiesel é um combustível renovável e biodegradável. Obtido normalmente a partir da reação química de lípidos (moléculas compostas por carbono, hidrogénio e oxigénio), óleos ou gorduras, de origem animal ou vegetal, com um álcool na presença de um catalisador.

O biodiesel pode ser utilizado puro ou misturado com o diesel em diversas proporções. Misturas:

- B100 - Biodiesel a 100%
- B20 - Biodiesel a 20%
- B5 - Biodiesel a 5%
- B2 - Biodiesel a 2%

Quanto maior é a percentagem de biodiesel, mais ecológico é o combustível. O biodiesel pode exigir modificações no motor para evitar certos problemas de manutenção e performance.

Propriedades do biodiesel [26]:

- Densidade: 890 kg/m^3
- Valor energético: 37.2 MJ/kg
- Factor de emissões de CO_2 : 76.2 g/MJ

Vantagens da utilização do biodiesel [23]:

- É uma energia renovável. As terras cultiváveis podem produzir uma enorme variedade de matéria-prima para o biodiesel;
- É constituído por carbono neutro, ou seja, o combustível tem origem renovável (ao contrário do combustível fóssil). Desta forma, a sua obtenção e combustão não contribuem para o aumento das emissões de CO_2 na atmosfera;
- Possui um alto ponto de fulgor¹, conferindo manuseio e armazenamento mais seguros;
- Apresenta excelentes propriedades de lubrificação, facto que vem ganhando importância com o advento do diesel de baixo teor de enxofre, cujas propriedades de lubrificação são parcialmente perdidas durante o processo de produção;

¹Ponto de fulgor é a menor temperatura à qual um combustível liberta vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável por uma fonte externa de calor.

- Até 20% de mistura de biodiesel com diesel, nos atuais motores a diesel, não obriga a alterações no motor. Para percentagens superiores é necessário fazer uma avaliação mais elaborada do desempenho do motor.

Desvantagens da utilização do biodiesel [23]:

- O biodiesel tem propriedades de solventes diferentes do diesel, e irá degradar juntas e tubos de borracha natural nos veículos. A substituição destes componentes é então necessária por materiais com melhores características;
- O biodiesel possui um poder calorífico (tanto na base mássica como volúmica) cerca de 10% inferior ao do gasóleo [30];
- Os filtros de partículas utilizados nos motores diesel podem ficar entupidos com partículas do biodiesel.

2.5 Álcool

O etanol (álcool) possui mais octanas do que a gasolina, assim ao utilizá-lo como combustível alternativo num motor de combustão interna proporciona maiores taxas de compressão, maior eficiência e economia de consumo.

Este combustível é feito a partir de fontes renováveis como a biomassa, fazendo uso de plantas, relva ou erva.

Pode ser utilizado diretamente no motor de ignição por faísca ou misturado na gasolina e nos motores de ignição por compressão como aditivo no gasóleo ou biodiesel.

A utilização do álcool no motor de combustão interna requer modificações no motor, devido às diferentes propriedades dos combustíveis, tais como:

- Diferente razão ar/combustível;
- Elevada temperatura de vaporização.

A adição do etanol como aditivo na gasolina (gasohol) produz melhorias na performance do motor, produz melhorias na potência, eficiência térmica e volumétrica, redução do consumo de combustível e de emissões. A redução das emissões apenas se verificam na redução das emissões de CO e HC, mas apresenta um aumento marginal de CO₂ [25].

Na adição do etanol como aditivo do diesel (diesohol), até 20% de etanol na mistura, pode perfeitamente ser usado nos motores de ignição por compressão sem modificações mecânicas. Com este aditivo no diesel e na quantidade indicada, verifica-se uma redução pouco significativa da potência, cerca de 5%, e um aumento do consumo específico, cerca de 9% [25].

A temperatura dos gases de escape e do óleo de lubrificação do motor baixa comparativamente com a utilização isolada do diesel. O motor pode pegar normalmente a quente ou a frio e apresenta reduções significativas de CO e NO_x [25].

Propriedades do álcool (E85) [26]:

- Densidade: 786 kg/m³
- Valor energético: 29.2 MJ/kg
- Factor de emissões de CO₂: 71.6 g/MJ

2.6 Gás Natural

O gás natural resulta da decomposição de sedimentos orgânicos de origem vegetal e animal, acumulados ao longo de milhares de anos em depósitos naturais subterrâneos. É destas bolsas que o gás natural é extraído e transportado até ao utilizador final. É consumido sem passar por qualquer processo de transformação.

Introduzido em Portugal em 1997, o gás natural trouxe os benefícios de uma fonte de energia mais cómoda, mais ecológica e com um preço mais competitivo. Atualmente é a energia de eleição da maioria dos europeus nos setores doméstico, terciário e industrial, sendo também utilizada em alguns transportes públicos como é o caso dos autocarros da STCP movidos a gás natural [8].

O gás natural oferece um alto número de octanas e assim apresenta uma eficiência térmica superior à gasolina e diesel [28].

Algumas das vantagens do uso de combustíveis gasosos são: [30]

- O rendimento dos motores é mais elevado (melhor combustão e maiores taxas de compressão) comparativamente com a gasolina, a possibilidade de queima pobre possibilita que este fique ao nível dos motores diesel;
- Inexistência de emissões evaporativas e reduzidas emissões de abastecimento;
- A reactividade fotoquímica (produção de ozono) dos gases de escape é baixa; baixas emissões a baixas temperaturas e em arranques a frio.

Propriedades do gás natural (CNG) [26]:

- Densidade: 0.790 kg/m^3
- Valor energético: 45.1 MJ/kg
- Factor de emissões de CO_2 : 56.2 g/MJ

2.7 Biogás

O biogás é obtido através de matéria orgânica fermentada na ausência de oxigénio. Os principais componentes deste combustível são o metano (H_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Para além destes componentes no biogás encontram-se pequenas quantidades de azoto, sulfureto de hidrogénio (H_2S) e monóxido de carbono (CO), entre outros [2]. A velocidade de combustão do biogás é baixa (aproximadamente 0.23 m/s) e é por esse motivo que o período de todo o processo de combustão é longo, a eficiência é baixa, a segurança e economia também são baixas.

Um motor alimentado por dois combustíveis, que funcionasse a diesel e a biogás (biogás-diesel), com uma grande percentagem de biogás e pouco diesel, resolveria os problemas referidos. O diesel neste motor teria como finalidade forçar a ignição do biogás, possibilitando uma energia de explosão superior do que no caso da utilização de apenas biogás com uma vela de ignição.

O aumento da taxa de compressão e purificação do biogás na câmara de combustão, permitiria o aumento da energia de ignição e consequente melhoria da performance do motor.[40]

2.8 Hidrogénio

Propriedades do Hidrogénio (CGH₂) [26]:

- Densidade: 0.084 kg/m^3
- Valor energético: 120.1 MJ/kg
- Factor de emissões de CO₂: 0 g/MJ

2.8.1 Hidrogénio num motor de combustão

O hidrogénio é visto como o combustível de futuro, tanto pelas suas características poluentes (a sua combustão produz água e um pouco de NO_x) como pela característica de "energy carrier" (uma fonte de energia, como a nuclear ou a solar, produz hidrogénio a partir da água, e água é novamente produzida aquando da sua combustão). O seu elevado potencial para combustão em misturas extra-pobres permite-lhe um rendimento muito elevado e uma pequena emissão de NO_x. O grande problema prende-se com os materiais usados para depósitos, válvulas e tubagens e com a densidade energética de armazenamento, que é mais baixa que o metano, mesmo usando pressões de 700 bar. Comparativamente com a gasolina, o hidrogénio a essa pressão necessita 12 vezes mais volume para a mesma quantidade de energia.

A mistura ar-combustível contém cerca de 30% (em volume) de hidrogénio, pelo que o binário e potência dos motores decrescem nessa proporção, embora a taxa de compressão possa ser aumentada, dado o seu elevado índice de octano. A velocidade de propagação de chama é superior à da gasolina e os limites de flamabilidade são também muito mais amplos, permitindo operação em misturas muito pobres.[30]

2.8.2 Hidrogénio como célula de combustível (Fuel Cell)

Uma célula de combustível (hidrogénio) é uma célula eletroquímica em que são consumidos um agente redutor (combustível) e um agente oxidante (comburente), com o objetivo de gerar energia elétrica. Na célula de combustível, ao contrário das baterias e das pilhas, estes agentes químicos são fornecidos e consumidos continuamente. [11]

Vantagens da utilização da célula de combustível: [6]

- As células de combustível têm a vantagem de serem altamente eficientes e pouco poluentes;
- Uma célula de combustível pode converter mais de 90% da energia contida num combustível em energia elétrica e calor;
- Devido ao facto de não possuírem partes móveis, as células de combustível apresentam maior nível de confiança comparativamente com os motores de combustão interna;
- A natureza do funcionamento permite a eliminação de muitas fontes de ruídos associadas aos sistemas convencionais de produção de energia.

Desvantagens da utilização da célula de combustível: [6]

- A necessidade da utilização de metais nobres como, por exemplo, a platina que é um dos metais mais caros e raros no nosso planeta;
- O elevado custo atual em comparação com as fontes de energia convencionais;
- Facilidade de entrar em auto-ignição, pois necessita de pouca energia para ignição (0.01 mJ) [30].

2.9 Elétrico - Baterias

Os veículos que utilizam a energia elétrica para a motorização, usam um ou mais motores elétricos juntamente com um conjunto de núcleos de baterias ou uma diferente fonte de alimentação elétrica que permita a propulsão do veículo. Os veículos elétricos não emitem CO_2 (Zero-Emissões) nem ruído, o que é uma excelente vantagem face aos veículos com motores de combustão interna.

Existem 3 tipos de veículos elétricos:

- Os que são eletricamente alimentados do exterior e não possuem armazenamento de energia, obrigando à alimentação energética continua de durante o movimento (ex.: comboios);
- Os que são alimentados externamente e possuem armazenamento de energia. O armazenamento é feito num conjunto de núcleos de baterias e a quantidade de energia elétrica armazenada é que vai alimentar o veículo durante o seu movimento (ex.: carro elétrico - Nissan Leaf);
- Os que são híbridos, ou seja, têm motorização elétrica juntamente com um motor de combustão interna ou célula de combustível (hidrogénio), que com um gerador produz energia para alimentar e carregar as baterias.

Estas tecnologias estão em constante investigação e desenvolvimento, e no sector automóvel já existem várias soluções disponíveis de diferentes marcas.

Vantagens do veículo elétrico [24]:

- Diminuição da poluição ambiental - Os veículos elétricos não emitem quaisquer gases com efeito de estufa na sua locomoção, sendo assim denominados Zero-Emissões. Existem no entanto emissões desses gases no fabrico destes veículos e das respetivas baterias;
- Diminuição da poluição sonora - Os veículos elétricos não emitem praticamente ruído, sendo extremamente silenciosos quando comparados com os veículos convencionais com motor de combustão interna;
- Poupança nos combustíveis - Os veículos elétricos têm um gasto de locomoção inferior comparativamente aos veículos de combustão interna. O veículo elétrico é também energeticamente mais eficiente do que os com motor de combustão, tendo um gasto de energia por espaço percorrido menor que um veículo convencional.

Desvantagens do veículo elétrico [24]:

- Preço - Os veículos elétricos ainda têm um preço elevado, comparando um veículo elétrico a um com motor de combustão;
- Autonomia - A autonomia dos carros elétricos situa-se normalmente entre os 100 km e os 200 km. Esta autonomia está muito dependente do desenvolvimento químico em torno das tecnologias associadas às baterias.

2.10 Ar comprimido

O motor a ar comprimido é um tipo de motor cujo movimento deve-se à expansão do ar comprimido. O motor pode trabalhar de modo linear (volumétrico) ou rotativo (centrífugo). É necessário o aquecimento do ar do motor durante a expansão.

Os motores (protótipos) atualmente existentes, usando ar comprimido, demonstram problemas de performance e durabilidade necessária. Exige um reservatório de pressão bastante seguro, já que conterà ar a altas pressões.

Estes motores permitem incorporar sistemas híbridos, com propulsão elétrica através de baterias (hybrid-pneumatic electric propulsion). O grupo automóvel PSA já realizou um *concept car* com um sistema híbrido deste género [17].

Um das desvantagens da utilização do ar comprimido é a baixa densidade energética deste, conforme o ar comprimido vai sendo gasto do reservatório de pressão, a performance diminuirá.

Capítulo 3

Comparação das diferentes fontes energéticas para a motorização

Com o objectivo de se fazer a comparação entre as diferentes fontes energéticas para a motorização, neste capítulo faz-se a análise *Well-to-Wheels* (WTW) das diferentes soluções energéticas. Esta análise consiste em avaliar a energia e as emissões de CO₂ gastas para a sua produção, análise *Well-to-Tank* (WTT), e também contabilizar a energia e as emissões de CO₂ na motorização do veículo, análise *Tank-to-Wheels* (TTW).

A análise *Well-to-Tank* avalia a quantidade de energia gasta e as emissões de CO₂ associadas, de todos os passos necessários para levar o combustível para o depósito do veículo.

A análise *Tank-to-Wheels* avalia a quantidade de energia gasta e as emissões de CO₂ associadas ao veículo no seu funcionamento. Esta análise contém também as várias configurações do veículo (motor de combustão interna, híbrido ou elétrico).

Sendo a análise *Well-to-Wheels*, a avaliação das duas análises anteriores, esta descreve todo o percurso do combustível desde a sua origem até ao seu consumo no veículo, dando-se importância a consumos e emissões.[25].

Dentro deste capítulo é feita também uma comparação de custos para as diferentes fontes energéticas, com esta análise pretende-se obter a melhor solução para o veículo em estudo.

3.1 Análise *Well-to-Tank* (WTT)

3.1.1 Balanço energético e das emissões das fontes energéticas

Para o mesmo combustível existem diferentes formas de o produzir, isso tem implicações na energia e nas emissões gastas nos diferentes processos de fabrico. Não tendo presentes a quantidade de combustível produzida em cada processo, para o mesmo combustível, fez-se uma média dos valores da energia e das emissões necessárias para produzir a fonte energética.

Assim, os valores a apresentar na tabela e gráficos seguintes, contêm os valores médios da energia e das emissões na fase de produção, para as diferentes fontes energéticas.

A tabela 3.1 apresenta aproximadamente os valores médios obtidos dos gráficos da análise *Well to Tank* (Anexo A).

O balanço energético é dado pela energia (MJ) necessária para produzir 1 MJ de combustível (MJ_{xt}/MJ_f).

O balanço das emissões é dado pelas gCO_{2eq} emitidas para produzir 1 MJ de combustível (gCO_{2eq}/MJ_f).

Tabela 3.1: Balanço energético e das emissões das fontes energéticas (WTT) [39]

	Energia [MJ_{xt}/MJ_f]	Emissões [gCO_{2eq}/MJ_f]
Gasolina	0.14	12.5
Gasóleo (Diesel)	0.16	14.2
GPL	0.12	8.0
Biodiesel	1.17	44.3
Álcool	1.72	22.8
Gás Natural	0.25	16.8
Hidrogénio	1.06	85.6
Eletricidade	1.44	76.4

As figuras 3.1 e 3.2 representam os valores da tabela anterior sobre a forma de gráficos, de forma a se ter uma melhor percepção da diferença entre as fontes energéticas nesta análise.

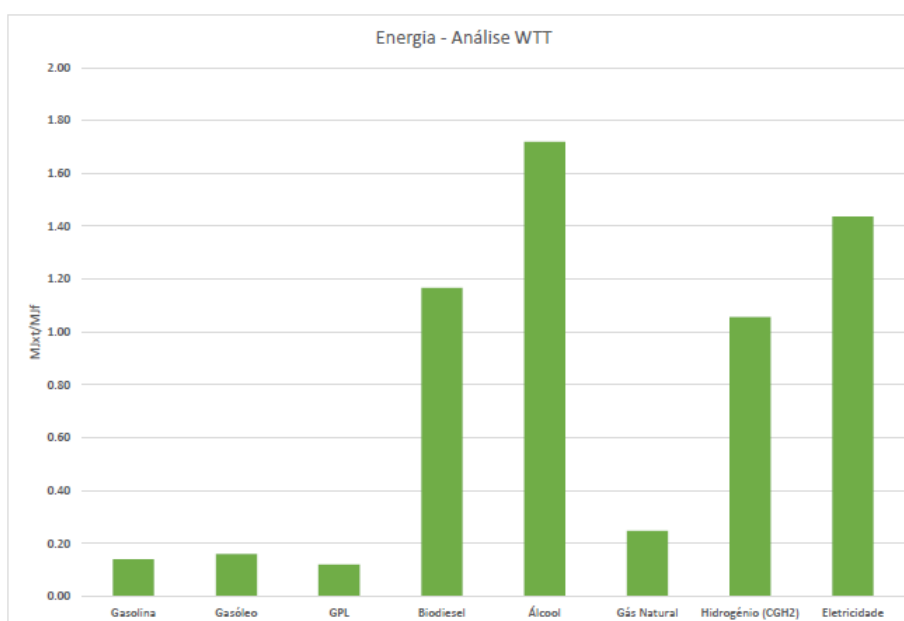


Figura 3.1: Gráfico com a energia dos diferentes combustíveis (Análise WTT) [39]

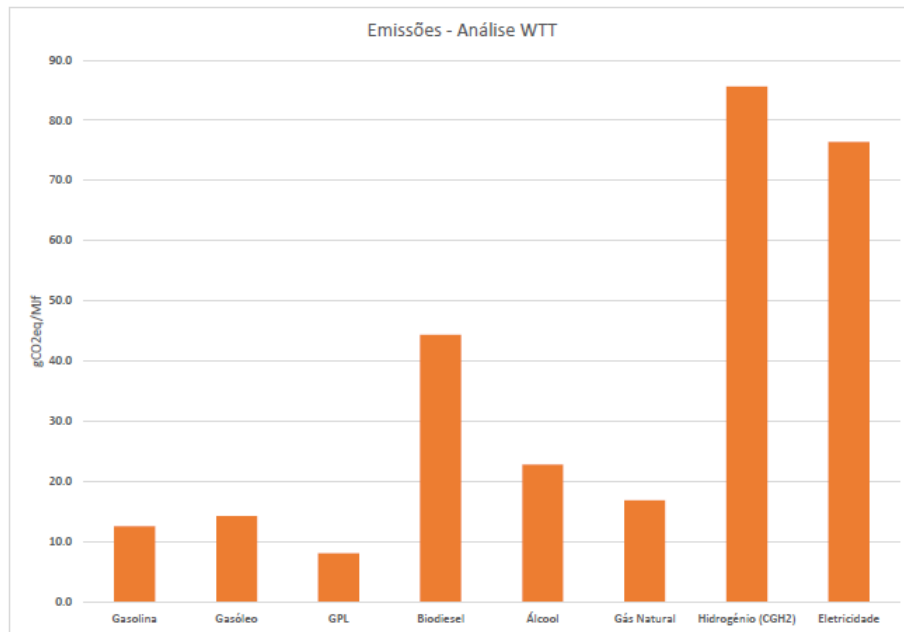


Figura 3.2: Gráfico com emissões dos diferentes combustíveis (Análise WTT) [39]

3.1.2 Melhores soluções

Tendo por base o gráfico da figura 3.1, as melhores soluções a nível energético são:

- GPL [$0.12 \text{ MJ}_{xt} / \text{MJ}_f$]
- Gasolina [$0.14 \text{ MJ}_{xt} / \text{MJ}_f$]
- Gasóleo [$0.16 \text{ MJ}_{xt} / \text{MJ}_f$]

Tendo por base o gráfico da figura 3.2, as melhores soluções a nível de emissões são:

- GPL [$8 \text{ gCO}_{2eq} / \text{MJ}_f$]
- Gasolina [$12.5 \text{ gCO}_{2eq} / \text{MJ}_f$]
- Gasóleo [$14.2 \text{ gCO}_{2eq} / \text{MJ}_f$]

Esta análise não é suficiente para determinar qual o melhor combustível a utilizar, mas durante a fase de produção e distribuição até ao veículo, das soluções apresentadas, a fonte energética mais eficiente é o GPL, tanto a nível energético como em emissões equivalentes de CO₂.

Nesta classificação em segundo lugar encontra-se a gasolina e em terceiro lugar o gasóleo, que é o combustível convencional mais utilizado nas máquinas agrícolas.

Com o objetivo de se verificar a diferença entre a melhor solução obtida, nesta análise, e o combustível convencional utilizado nos tratores agrícolas (gasóleo), de seguida efetuam-se os cálculos para comparar o GPL e o gasóleo, a nível energético e de emissões.

Comparação da energia necessária para a produção do gasóleo e do GPL:

$$\text{Aumento de gasto energético na produção do gasóleo} = \frac{0.16 - 0.12}{0.12} \simeq 0.333(33.3\%)$$

Para produzir gasóleo gasta-se aproximadamente mais 33.3% da energia, comparativamente à produção de GPL.

Comparação das emissões resultantes da produção do gasóleo e do GPL:

$$\text{Aumento de emissões na produção do gasóleo} = \frac{14.2 - 8}{8} = 0.775 (77.5\%)$$

Para produzir gasóleo emite-se mais 77.5% de gCO_{2eq} , comparativamente à produção de GPL.

3.2 Análise Tank-to-Wheels (TTW)

Nesta fase de análise é feita a comparação entre as diferentes motorizações possíveis para os diferentes combustíveis, analisa-se a energia consumida e as emissões resultantes da utilização da fonte energética na motorização do veículo.

3.2.1 Balanço energético e das emissões das fontes energéticas

Os valores apresentados na tabela 3.2 são o resumo dos valores obtidos nos ensaios representados no anexo B. As características dos ensaios (parâmetros de simulação) estão presentes no mesmo anexo, da análise Tank-to-Wheels.

Nesta análise a energia é medida em $MJ/100km$ e as emissões em gCO_{2eq}/km , apesar de a medida km não ter significado nas máquinas agrícolas, porque nestas máquina o termo de comparação são as horas de trabalho da máquina, assume-se que a melhor solução nesta análise aplica-se às máquinas agrícolas.

Tabela 3.2: Balanço energético e das emissões das fontes energéticas (TTW) [26]

Motorização	Fonte energética	Energia [MJ/100km]	Emissões [gCO _{2eq} /km]	Consumo de combustível [MJ/100km]	Consumo de energia elétrica [kWh/100km]
PISI	Gasolina	211.30	155.8	211.30	-
	GPL	215.70	142.5	215.70	-
	Gás Natural	232.30	132.6	232.30	-
	Álcool	207.10	148.9	207.10	-
DISI	Gasolina	203.80	150.3	203.80	-
	GPL	207.80	137.3	207.80	-
	Gás Natural	211.80	121.0	211.80	-
	Álcool	198.60	142.8	211.80	-
DICI	Gasóleo	162.50	120.2	162.50	-
	Biodiesel	162.50	125.0	162.50	-
Hybrid DISI	Gasolina	141.70	105.6	141.70	-
	Álcool	138.10	100.3	138.10	-
Hybrid DICI	Gasóleo	128.00	95.6	128.00	-
	Biodiesel	128.00	99.4	128.00	-
PHEV DISI	Gasolina	115.85	75.3	101.2	4.07 (14.65 MJ/100km)
	Álcool	113.25	71.6	98.6	4.07 (14.65 MJ/100km)
PHEV DICI	Gasóleo	106.50	68.1	91.6	4.14 (14.90 MJ/100km)
	Biodiesel	106.50	70.9	91.6	4.14 (14.90 MJ/100km)
REEV SI	Gasolina	76.59	25.9	34.9	11.58 (41.69 MJ/100km)
	Álcool	75.59	24.4	33.9	11.58 (41.69 MJ/100km)
BEV	Elettricidade	52.16	0.0	-	14.59 (52.16 MJ/100km)
FCEV	Hidrogénio (CGH2)	74.99	0.0	74.99	-

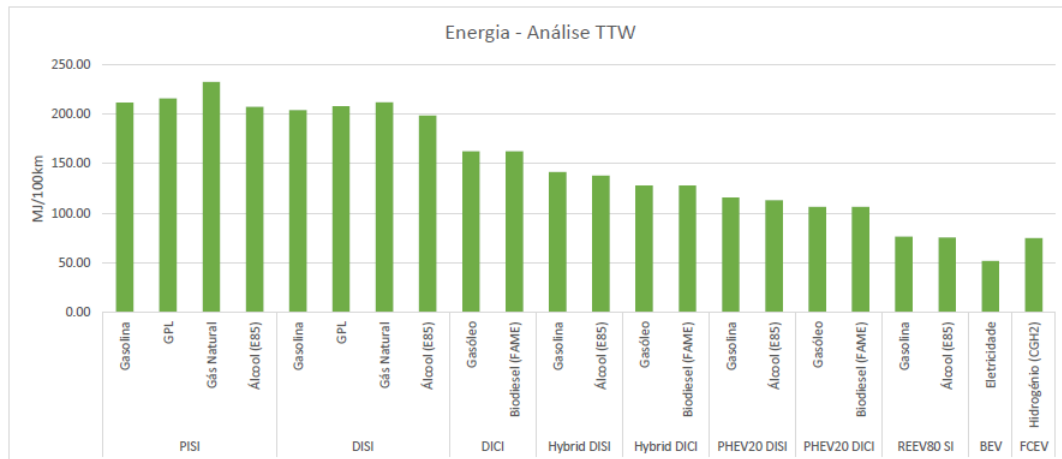


Figura 3.3: Gráfico com a energia das diferentes motorizações e combustíveis (Análise TTW) [26]

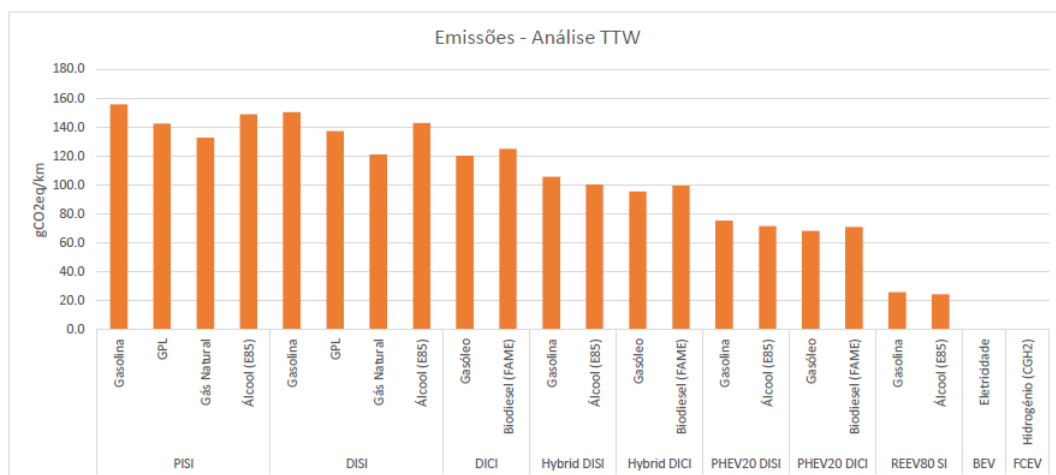


Figura 3.4: Gráfico com emissões das diferentes motorizações e combustíveis (Análise TTW) [26]

3.2.2 Melhores soluções

Tendo por base o gráfico da figura 3.3, as melhores soluções a nível energético são:

- BEV - Eletricidade [52.16 MJ/100km]
- FCEV - Hidrogénio [74.99 MJ/100km]
- REEV SI - Álcool [75.59 MJ/100km]

Tendo por base o gráfico da figura 3.4, as melhores soluções a nível de emissões são:

- BEV - Eletricidade [0.0 gCO_{2eq}/km]
- FCEV - Hidrogénio [0.0 gCO_{2eq}/km]
- REEV SI - Álcool [24.4 gCO_{2eq}/km]

Esta análise (TTW) complementa a análise feita anteriormente (WTT), sendo que esta apresenta os valores de energia e de emissões durante o funcionamento do veículo, na motorização. Para esta análise a solução mais eficiente é a do veículo elétrico a baterias (BEV), tanto a nível energético como em emissões equivalentes de CO_2 . Nesta classificação em segundo lugar encontra-se o veículo a célula de combustível e em terceiro o veículo elétrico com extensor de autonomia a álcool.

Tendo por base apenas esta análise a solução elétrica apresenta uma clara vantagem, em energia consumida e emissões de CO_{2eq} , relativamente aos veículos com motores de combustão interna (veículos convencionais), nomeadamente aos motores diesel que são os mais utilizados nas máquinas agrícolas.

Com o objetivo de se verificar a diferença entre a melhor solução obtida, nesta análise, e o convencional motor de combustão interna a gasóleo (DICI) utilizado nos tratores agrícolas, de seguida efetua-se o cálculo para comparar os dois casos, a nível energético. A solução elétrica a baterias (BEV) não possui emissões ($0\text{gCO}_{2eq}/\text{km}$), face aos $120.2\text{gCO}_{2eq}/\text{km}$ do veículo DICI.

Comparação da energia utilizada para percorrer 100 km utilizando o veículo com motor de combustão interna a gasóleo (DICI) e o veículo elétrico a baterias (BEV):

$$\text{Aumento de gasto energético na produção do gasóleo} = \frac{162.50 - 52.16}{52.16} \simeq 2.12(212\%)$$

Utilizando o veículo com motor de combustão interna a gasóleo (DICI) consome-se mais 212% de energia, comparativamente à utilização do veículo elétrico a baterias (BEV).

Em resumo, analisando os dados conclui-se que, nesta secção, a melhor solução é a do veículo elétrico a baterias, tanto a nível energético como em emissões de CO_2 .

A figura 3.5 representa o gráfico relativo à energia e emissões gastas para as diferentes opções de motorização do veículo.

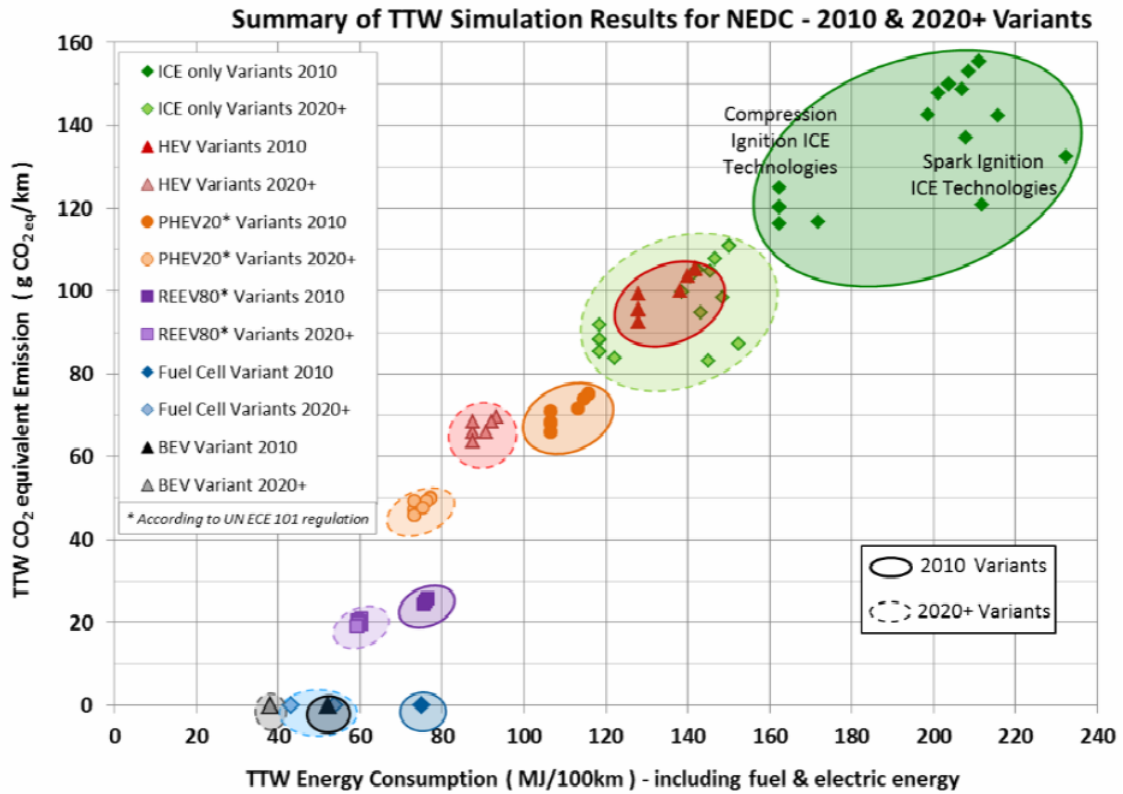


Figura 3.5: Gráfico resumo da análise TTW [26]

O gráfico 3.5 demonstra a evolução esperada para as diferentes tecnologias de motorização, que salienta muito bem a diferença entre a utilização da motorização elétrica face ao motor de combustão interna, em energia e emissões.

3.3 Análise *Well-to-Wheels* (WTW)

Nesta secção conjuga-se as duas análises feitas anteriormente de forma a obter o mapeamento correto de todo o percurso da fonte energética. Com esta análise pretende-se obter a melhor solução a nível energético e de emissões para o veículo.

3.3.1 Balanço energético e das emissões das fontes energéticas

Com o objetivo de agrupar a informação obtida das duas análises anteriores, utiliza-se a equação 3.1 para determinar a energia total (WTT+TTW) e a equação 3.2 para determinar as emissão total (WTT+TTW), para as fontes energéticas e motorizações analisadas.

Eficiência energética do veículo:

$$\text{Total WTW energy (MJ/100km)} = \text{TTW energy (MJ}_f\text{/100km)} \times (1 + \text{WTT total expended energy (MJ}_{xt}\text{/MJ}_f))$$

Fonte: Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuel [39] (3.1)

Emissão de CO₂ equivalente:

$$\text{WTW GHG}(g\text{CO}_{2eq}/km) = \text{TTW GHG}(g\text{CO}_{2eq}/km) + \text{TTW energy}(MJ_f/100km)/100 \times \text{WTT GHG}(g\text{CO}_{2eq}/MJ_f)$$

Fonte: Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuel [39] (3.2)

A tabela 3.3 apresenta o resultado dos cálculos efetuados utilizando as duas equações anteriores, para as diferentes motorizações e fontes energéticas.

Tabela 3.3: Balanço energético e das emissões das fontes energéticas (WTW)

Motorização	Fonte energética	Energia [MJ/100km]	Emissões [gCO _{2eq} /km]	Energia do combustível [MJ/100km]	Energia elétrica [MJ/100km]
PISI	Gasolina	240.88	182.2	240.88	-
	GPL	241.58	159.8	241.58	-
	Gás Natural	289.99	171.7	289.99	-
	Álcool	563.31	196.1	563.31	-
DISI	Gasolina	232.33	175.8	232.33	-
	GPL	232.74	153.9	232.74	-
	Gás Natural	264.40	156.7	264.40	-
	Álcool	540.19	188.1	540.19	-
DICI	Gasóleo	188.50	143.3	188.50	-
	Biodiesel	352.08	197.0	352.08	-
Hybrid DISI	Gasolina	161.54	123.3	161.54	-
	Álcool	375.63	131.8	375.63	-
Hybrid DICI	Gasóleo	148.48	113.8	148.48	-
	Biodiesel	277.33	156.1	277.33	-
PHEV DISI	Gasolina	151.07	99.1	115.37	35.70
	Álcool	303.89	84.5	268.19	35.70
PHEV DICI	Gasóleo	142.57	92.5	106.26	36.31
	Biodiesel	234.78	122.9	198.47	36.31
REEV SI	Gasolina	141.35	62.1	39.79	101.57
	Álcool	193.78	64.0	92.21	101.57
BEV	Elettricidade	127.09	39.8	-	127.09
FCEV	Hidrogénio	154.20	64.2	154.20	-

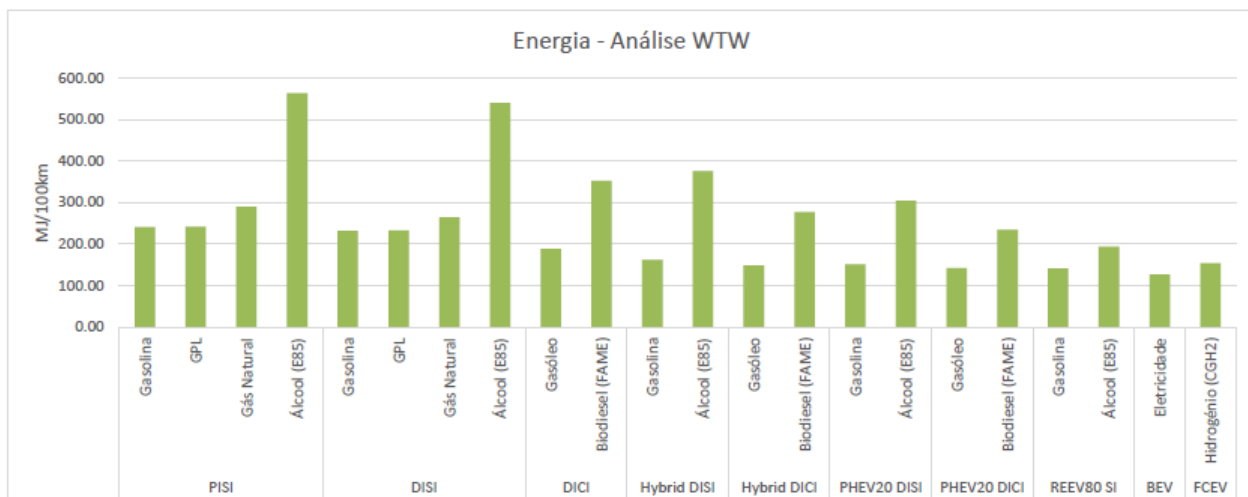


Figura 3.6: Gráfico com a energia das diferentes motorizações e combustíveis (Análise WTW)

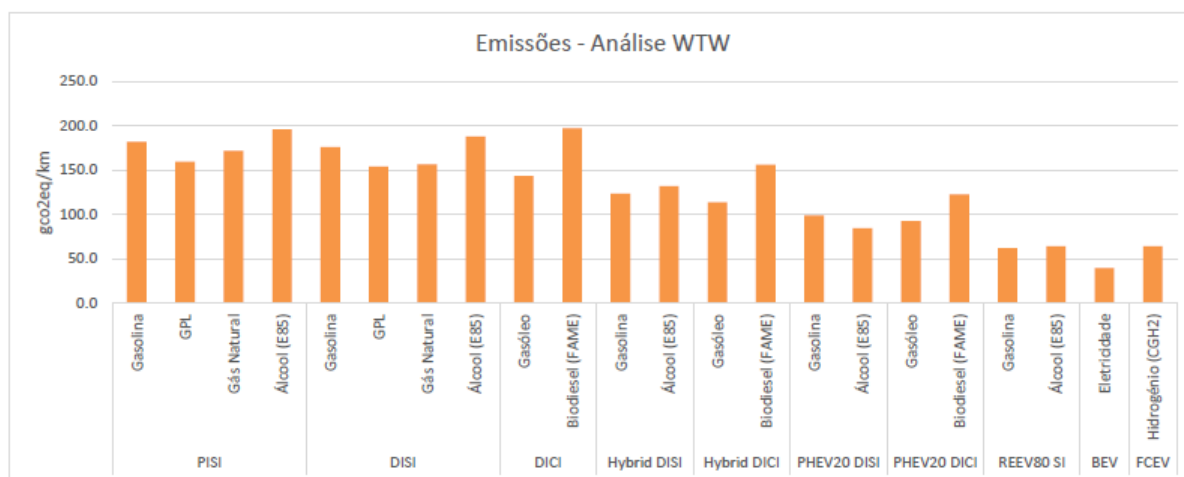


Figura 3.7: Gráfico com emissões das diferentes motorizações e combustíveis (Análise WTW)

3.3.2 Melhores soluções

Tendo por base o gráfico da figura 3.6, as melhores soluções a nível energético são:

- BEV - Eletricidade [127.09 MJ/100km]
- REEV SI - Gasolina [141.35 MJ/100km]
- PHEV DICI - Gasóleo [142.57 MJ/100km]

Tendo por base o gráfico da figura 3.7, as melhores soluções a nível de emissões são:

- BEV - Eletricidade [39.8 gCO_{2eq}/km]
- REEV SI - Gasolina [62.1 gCO_{2eq}/km]
- REEV SI - Alcool [64.0 gCO_{2eq}/km]

Dentro das melhores soluções apresentadas, a que se destaca em primeiro lugar como uma fonte energética alternativa para alimentar o veículo em causa, é a solução elétrica a baterias.

Em resumo, estando agrupadas as análises anteriores e analisando os dados, conclui-se que do ponto de vista energético e de emissões totais a solução elétrica a baterias é a melhor solução.

De forma a complementar esta análise, nas duas seções seguintes será analisado o preço das diferentes fontes energéticas e também o custo com as fontes energéticas a cada 100km.

3.4 Preço das fontes energéticas

Um dos elementos importantes para a comparação entre as diferentes fontes energéticas é o seu preço. Como as vinhas estreitas e inclinadas não são um caso restrito de Portugal, na Região Demarcada do Douro, e também pelo facto de alguns combustíveis não serem comercializados neste país, analisa-se o preço não só para Portugal mas também para outros países de referência.

3.4.1 Gasolina, Gasóleo e GPL

A tabela 3.4 apresenta o preço dos combustíveis convencionais (Gasolina 95 e Gasóleo) para vários países da Europa, e a tabela 3.5 apresenta o preço do GPL. Estas tabelas para além do preço final do combustível, contêm o preço do petróleo, custo com a produção, taxas ambientais e taxas governamentais. O valor referente à taxa ambiental (*Excise duties*) imposta aos combustíveis convencionais (Gasolina 95 e Gasóleo), têm uma elevada influência no preço final, já que na maioria dos casos este valor é superior ao preço do petróleo. Esta análise não se aplica ao GPL, já que o valor pago pela taxa ambiental é, em todos os países analisados, bastante inferior ao da sua matéria-prima.

Tabela 3.4: Preço dos combustíveis convencionais (gasolina 95 e Gasóleo) [7]

Diesel and Unleaded Fuel Price Components											
March 19, 2014	Unleaded (Superbleifrei, Euro sans plomb, Euro95)						Diesel (Gazole, Gasóleo)				
Country	Crude	Margin	Excise duties	VAT	Retail price		Crude	Margin	Excise duties	VAT	Retail price
Austria	€ 0.47	€ 0.18	€ 0.48	€ 0.23	€ 1.36		€ 0.47	€ 0.24	€ 0.40	€ 0.22	€ 1.33
Belgium	€ 0.47	€ 0.24	€ 0.61	€ 0.28	€ 1.60		€ 0.47	€ 0.12	€ 0.58	€ 0.25	€ 1.42
Bulgaria	€ 0.47	€ 0.23	€ 0.36	€ 0.21	€ 1.28		€ 0.47	€ 0.28	€ 0.33	€ 0.22	€ 1.30
Croatia	€ 0.47	€ 0.20	€ 0.42	€ 0.27	€ 1.36		€ 0.47	€ 0.23	€ 0.33	€ 0.26	€ 1.29
Cyprus	€ 0.47	€ 0.30	€ 0.43	€ 0.23	€ 1.42		€ 0.47	€ 0.34	€ 0.40	€ 0.23	€ 1.44
Czech Republic	€ 0.47	€ 0.10	€ 0.51	€ 0.23	€ 1.31		€ 0.47	€ 0.19	€ 0.44	€ 0.23	€ 1.33
Denmark	€ 0.47	€ 0.30	€ 0.59	€ 0.34	€ 1.70		€ 0.47	€ 0.31	€ 0.44	€ 0.31	€ 1.52
Estonia	€ 0.47	€ 0.15	€ 0.42	€ 0.21	€ 1.24		€ 0.47	€ 0.27	€ 0.33	€ 0.21	€ 1.28
Finland	€ 0.47	€ 0.17	€ 0.65	€ 0.31	€ 1.60		€ 0.47	€ 0.06	€ 0.68	€ 0.29	€ 1.50
France	€ 0.47	€ 0.16	€ 0.61	€ 0.25	€ 1.48		€ 0.47	€ 0.20	€ 0.42	€ 0.22	€ 1.30
Germany	€ 0.47	€ 0.19	€ 0.66	€ 0.25	€ 1.56		€ 0.47	€ 0.06	€ 0.66	€ 0.22	€ 1.40
Greece	€ 0.47	€ 0.22	€ 0.67	€ 0.31	€ 1.67		€ 0.47	€ 0.32	€ 0.33	€ 0.26	€ 1.37
Hungary	€ 0.47	€ 0.14	€ 0.43	€ 0.28	€ 1.32		€ 0.47	€ 0.17	€ 0.44	€ 0.29	€ 1.36
Ireland	€ 0.47	€ 0.19	€ 0.59	€ 0.29	€ 1.53		€ 0.47	€ 0.25	€ 0.48	€ 0.28	€ 1.48
Italy	€ 0.47	€ 0.26	€ 0.73	€ 0.32	€ 1.77		€ 0.47	€ 0.57	€ 0.34	€ 0.30	€ 1.68
Latvia	€ 0.47	€ 0.19	€ 0.42	€ 0.23	€ 1.30		€ 0.47	€ 0.26	€ 0.34	€ 0.22	€ 1.28
Lithuania	€ 0.47	€ 0.18	€ 0.43	€ 0.23	€ 1.30		€ 0.47	€ 0.26	€ 0.33	€ 0.22	€ 1.27
Luxembourg	€ 0.47	€ 0.20	€ 0.46	€ 0.17	€ 1.29		€ 0.47	€ 0.23	€ 0.33	€ 0.15	€ 1.18
Malta	€ 0.47	€ 0.26	€ 0.49	€ 0.22	€ 1.44		€ 0.47	€ 0.28	€ 0.40	€ 0.21	€ 1.36
Netherlands	€ 0.47	€ 0.24	€ 0.75	€ 0.31	€ 1.76		€ 0.47	€ 0.32	€ 0.44	€ 0.26	€ 1.48
Poland	€ 0.47	€ 0.16	€ 0.41	€ 0.24	€ 1.27		€ 0.47	€ 0.13	€ 0.44	€ 0.24	€ 1.28
Portugal	€ 0.47	€ 0.25	€ 0.59	€ 0.30	€ 1.60		€ 0.47	€ 0.33	€ 0.34	€ 0.26	€ 1.40
Romania	€ 0.47	€ 0.24	€ 0.36	€ 0.26	€ 1.33		€ 0.47	€ 0.28	€ 0.33	€ 0.26	€ 1.34
Slovakia	€ 0.47	€ 0.18	€ 0.55	€ 0.24	€ 1.43		€ 0.47	€ 0.18	€ 0.48	€ 0.23	€ 1.36
Slovenia	€ 0.47	€ 0.16	€ 0.57	€ 0.26	€ 1.45		€ 0.47	€ 0.16	€ 0.48	€ 0.24	€ 1.35
Spain	€ 0.47	€ 0.26	€ 0.43	€ 0.24	€ 1.40		€ 0.47	€ 0.31	€ 0.33	€ 0.23	€ 1.34
Sweden	€ 0.47	€ 0.30	€ 0.46	€ 0.31	€ 1.54		€ 0.47	€ 0.19	€ 0.57	€ 0.31	€ 1.54
United Kingdom	€ 0.47	€ 0.14	€ 0.67	€ 0.26	€ 1.54		€ 0.47	€ 0.21	€ 0.67	€ 0.27	€ 1.62

Crude - Purchase price of one litre of crude.

Margin - Refining, transportation, insurance, stockpiling, distribution and sale to consumers.

Excise duties and VAT - Taxes levied by local governments. May include environment related taxes.

Tabela 3.5: Preço por litro do GPL [7]

GPL					
March 19, 2014	LPG (GPL, Autogas)				
Country	Crude	Margin	Excise duties	VAT	Retail price
Austria	No data	No data	No data	No data	No data
Belgium	€ 0.39	€ 0.11	€ 0.00	€ 0.11	€ 0.61
Bulgaria	€ 0.39	€ 0.04	€ 0.09	€ 0.11	€ 0.63
Croatia	€ 0.39	€ 0.19	€ 0.01	€ 0.15	€ 0.74
Cyprus	No data	No data	No data	No data	No data
Czech Republic	€ 0.39	€ 0.06	€ 0.08	€ 0.11	€ 0.65
Denmark	€ 0.39	€ 0.28	€ 0.27	€ 0.24	€ 1.18
Estonia	€ 0.39	€ 0.06	€ 0.07	€ 0.10	€ 0.63
Finland	No data	No data	No data	No data	No data
France	€ 0.39	€ 0.18	€ 0.06	€ 0.13	€ 0.76
Germany	€ 0.39	€ 0.14	€ 0.10	€ 0.12	€ 0.75
Greece	No data	No data	No data	No data	No data
Hungary	€ 0.39	€ 0.05	€ 0.18	€ 0.17	€ 0.78
Ireland	€ 0.39	No data	No data	No data	No data
Italy	€ 0.39	€ 0.10	€ 0.14	€ 0.13	€ 0.76
Latvia	€ 0.39	€ 0.00	€ 0.07	€ 0.10	€ 0.56
Lithuania	€ 0.39	€ 0.01	€ 0.16	€ 0.12	€ 0.68
Luxembourg	€ 0.39	€ 0.10	€ 0.06	€ 0.03	€ 0.58
Malta	No data	No data	No data	No data	No data
Netherlands	€ 0.39	€ 0.25	€ 0.10	€ 0.16	€ 0.89
Poland	€ 0.39	€ 0.04	€ 0.11	€ 0.12	€ 0.66
Portugal	€ 0.39	€ 0.27	€ 0.07	€ 0.17	€ 0.89
Romania	€ 0.39	€ 0.09	€ 0.07	€ 0.13	€ 0.69
Slovakia	€ 0.39	€ 0.11	€ 0.10	€ 0.12	€ 0.72
Slovenia	€ 0.39	€ 0.18	€ 0.07	€ 0.14	€ 0.78
Spain	€ 0.39	€ 0.19	€ 0.03	€ 0.13	€ 0.74
Sweden	No data	No data	No data	No data	No data
United Kingdom	€ 0.39	€ 0.12	€ 0.20	€ 0.14	€ 0.85

3.4.2 Gasóleo agrícola

O gasóleo agrícola (colorido) é um combustível diferenciado, de cor verde, que possui um preço significativamente inferior ao gasóleo rodoviário. Este combustível é dedicado aos veículos agrícolas, possui as mesmas propriedades que o gasóleo normal, mas devido a incentivos fiscais este produto torna-se mais barato.

Tabela 3.6: Preços de referência da Combustoil (BP) [15]

Combustoil	
Combustível	Preço (por litro)
Gasóleo	1.389 €
Gasóleo Agrícola	0.989 €

Dados de 18/03/2014

3.4.3 Biodiesel

Em Portugal todo o gasóleo comercializado, desde 2010, contém na sua mistura 7% de biodiesel.

Segundo o website da Direção Geral da Energia e Geologia, preço dos combustíveis online, quanto ao biodiesel em Portugal existem duas marcas distribuidoras, a Prio e a Oleofat.

As marcas referidas para além do gasóleo convencional, têm disponível o biodiesel B10, 10% de biodiesel na mistura com o gasóleo.

Quanto a preços de referência da marca Prio:

Tabela 3.7: Preços de referência da marca Prio [16]

PRIO	
Combustível	Preço (por litro)
Gasolina 95	1.582 €
Gasolina 98	1.663 €
Biodiesel B10	1.394 €
Gasóleo	1.399 €

Dados de 17/02/2014

Quanto a preços de referência da marca Oleofat:

Tabela 3.8: Preços de referência da marca Oleofat [16]

OLEOFAT	
Combustível	Preço (por litro)
Gasolina 95	1.609 €
Biodiesel B10	1.409 €
Gasóleo	1.409 €

Dados de 24/02/2014

Assim, com base nas tabelas anteriores, verifica-se que em Portugal o biodiesel B10 tem um preço final inferior ou igual ao gasóleo convencional. E pelos dados obtidos da marca Prio, deduz-se que quanto maior a percentagem de biodiesel no combustível, mais baixo será o seu preço final.

Nos Estados Unidos da América:

Tabela 3.9: Média dos preços dos combustíveis (Gasolina, Gasóleo e Biodiesel) dos Estados Unidos da América

Preço dos combustíveis		
Combustível	Preço médio (\$ per gallon)	Preço médio (€/l)
Gasolina	3.45	0.655
Gasóleo	3.91	0.742
Biodiesel (B99-B100)	4.18	0.793

Clean Cities Alternative Fuel Price Report - outubro 2013

Taxa de câmbio (19 Março 2014): 1\$ = 0.71833€

Analisando a tabela 3.9 verifica-se que nos Estados Unidos da América o preço por galão de biodiesel é mais caro do que o gasóleo.

3.4.4 Álcool

O álcool utilizado como combustível automóvel não se utiliza em Portugal, assim para este combustível apenas se coloca o preço deste combustível em alguns estados do

Brasil.

Tabela 3.10: Média dos preços dos combustíveis (Gasolina, Álcool e Gasóleo) dos estados de Rio de Janeiro, Brasília e Petrópolis [20]

Preço dos combustíveis no Brasil	
Combustível	Preço
Álcool	2.40 R\$/l (0.73 €/l)
Gasolina	3.10 R\$/l (0.95 €/l)
Gasóleo	2.39 R\$/l (0.73 €/l)

Dados de 22/02/2014

Taxa de câmbio (19 Março 2014): 1R\$ = 0.30556€

Tabela 3.11: Média dos preços dos combustíveis (Gasolina, Álcool e GNV) dos estados de Mato Grosso, Goiás, São Paulo e Paraná [20]

Preço dos combustíveis no Brasil	
Combustível	Preço
Álcool	2.08 R\$/l (0.64 €/l)
Gasolina	3.00 R\$/l (0.92 €/l)
GNV	2.00 R\$/m ³ (0.61 €/m ³)

Dados de 22/02/2014

Taxa de câmbio (19 Março 2014): 1R\$ = 0.30556€

Com base nos dados apresentados nas tabelas 3.10 e 3.11, verifica-se que no Brasil o álcool é significativamente mais barato do que a gasolina.

3.4.5 Gás natural

Os preços do gás natural em Portugal estão liberalizados, são portanto objecto de negociação entre o comprador e vendedor. O mesmo se passa em relação ao gás natural comprimido (GNC).

Segundo a Associação Portuguesa do Veículo a Gás Natural (APVGN), em termos médios, pode-se afirmar que a utilização do GNC reduz os custos da exploração em um terço em relação ao gasóleo e em 50% em relação à gasolina.

O preço do gás natural em Portugal é medido em metros cúbicos normalizados.



Figura 3.8: Experiência de um utilizador de VGN (2007) [21]

Tabela 3.12: Tributação de energia (2011) [22]

Actuais níveis mínimos de tributação		Equivalência [€/GJ]
Gasolina	359€/1000 litros	11,396
Gasóleo	330€/1000 litros	9,311
Querosene	330€/1000 litros	9,372
GPL	125€/1000 kg	4,993
GN	2,6€/GJ	2,600

Analisando a tabela 3.12 verificámos que de todos os combustíveis apresentados, o gás natural é o que apresenta uma menor tributação com 2.6 €/GJ, juntando a informação dada pela Associação Portuguesa do Veículo a Gás Natural quanto ao custo de exploração, assume-se que o preço de venda ao público do gás natural tem um preço bastante inferior aos combustíveis convencionais.

Tal facto está também evidenciado na figura 3.8, com o experiência de um utilizador de um veículo a gás natural, um Fiat Punto bifuel (Gasolina/GNC) que apresenta uma redução significativa de custos com o combustível. Neste caso o condutor, em cada 100 km, beneficia de uma poupança de cerca de 47% (equação 3.3) do custo com o combustível.

$$\text{Poupança} = \frac{6.09 - 3.23}{6.09} \times 100 \simeq 47\% \quad (3.3)$$

3.4.6 Hidrogénio

No Reino Unido o hidrogénio é mais barato do que o gasóleo e estima-se que no futuro o seu preço seja ainda mais baixo.

Segundo a ITM power, em parceria com a Hyundai o hidrogénio é agora competitivo face aos veículos diesel [14].

Taxa de câmbio (19 de Março 2014): £1 = 1.19320€

Dados [14]:

- Hyundai ix35 FCEV (hydrogen fuel cell vehicle) - custo por km - 4p (0.048€)
- Hyundai ix35 2.0 CRDi 4WD Diesel - custo por km - 7.9p (0.094€)

Estes números assumem[14]:

- Preço do gasóleo a 139.2p (1.66€) por litro.
- Preço do hidrogénio a 419p (5€) por Kg(generated from ITM's 1MW HGas unit).

Um veículo a Fuel Cell fica 50.6% mais económico por quilómetro do que um veículo diesel.

Preços do hidrogénio para 2015 e 2025 (Reino Unido) [14]:

- £7.19/Kg (8.58€/kg) em 2015
- £4.40/kg (5.25€/kg) em 2025

Mostra-se assim a tendência de redução de preço deste combustível.

3.4.7 Eletricidade

O preço da eletricidade, em Portugal, está representado na tabela 3.13.

Tabela 3.13: Preço de energia ativa €/kWh (EDP) [4]

Preço da energia ativa	Período horário	EUR/kWh	
		até 6,9 kVA	acima de 6,9 kVA
Simplex ≤ 2,3kVA		0,1317	-
Simplex > 2,3 kVA		0,1528	0,1543
Bi-horária	Horas fora de vazio	0,1785	0,1821
	Horas de vazio	0,0946	0,0955
Tri-horária	Horas de ponta	0,2029	0,2066
	Horas de cheias	0,1613	0,1642
	Horas de vazio	0,0946	0,0955

No caso de Portugal, considera-se que o custo da energia elétrica estabelecido para 2014 é de 0.1543 €/kWh (Preço da energia ativa: Simplex > 2.3 kVA, acima de 6.9 kVA).

3.4.8 Ar comprimido

O preço do ar comprimido, como fonte de energia para o veículo, é função da energia elétrica gasta para abastecer o reservatório, com determinada pressão e volume.

O veículo da Tata possui um reservatório de pressão de 4500 psi (31 MPa) [19]. Fazendo os cálculos para um compressor com as seguintes características:

- Pressão máxima: 5000 psi (34.5 MPa)
- Potência do motor: 7.5 hp (5.5 kW)
- Caudal: 266 l/min ($0.266 \text{ m}^3/\text{min}$)
- Tempo de abastecimento: 7.4 min (80 cu.ft. = 2.27 m^3), $3.3 \text{ min}/\text{m}^3$

Consumo energético por m^3 :

$$5.5(\text{kW}) \times \frac{3.3}{60}(\text{h}/\text{m}^3) = 0.3025\text{kWh}/\text{m}^3 \quad (3.4)$$

No caso de Portugal, a custo da energia elétrica estabelecido para 2014 é de 0.1543 €/kWh (tabela 3.13).

Custo em energia por m^3 : $0.3025 \times 0.1543 = 0.04668\text{€}/\text{m}^3$

3.5 Gasto com as fontes energéticas a cada 100km para diferentes motorizações

Com o objetivo de complementar a comparação entre as diferentes fontes energéticas para a motorização do veículo, nesta secção, será calculado e analisado o gasto com as fontes energéticas a cada 100km, juntando a informação do preço dos combustíveis com a análise WTW.

Um dos motivos para este cálculo deve-se ao preço dado aos combustíveis (por exemplo, em Portugal, dado em €/por litro), que têm diferentes propriedades e consequentemente quantidades energéticas diferentes, e, utilizados em motorizações com diferentes características acabam por não ter termo de comparação. Assim, juntando a informação do preço com a informação do gasto energético (análise wtw) consegue-se estabelecer um termo comparativo entre as diferentes fontes energéticas.

Tendo por base os preços das fontes energéticas, as suas propriedades (tabela 3.14) e os valores de energia consumida a cada 100km (análise WTW), calcula-se o custo por 100km para as diferentes motorizações e fontes energéticas analisadas.

Na tabela seguinte apresentam-se as propriedades das fontes energéticas analisadas nesta análise:

Tabela 3.14: Propriedades dos combustíveis [26]

Propriedades dos combustíveis		
Fonte energética	Massa volúmica (kg/m ³)	Valor energético (MJ/kg)
Gasolina	745	43.2
Gasóleo	832	43.1
GPL	550	46
Biodiesel	890	37.2
Álcool	786	29.2
Gás Natural	0.790	45.1
Hidrogénio	0.084	120.1

Equação para calcular o custo com o combustível a cada 100 km:

$$\text{Custo com o combustível} = \frac{\text{Preço combustível}}{\text{Valor energético}} \times \text{Energia consumida} \quad (3.5)$$

Para o caso da fonte de energia elétrica a cada 100 km:

$$\text{Custo com energia elétrica} = \text{Preço da energia elétrica} \times \text{Energia consumida} \quad (3.6)$$

Assim, na tabela seguinte representa-se os valores calculados para os custos com as fontes energéticas a cada 100km, para diferentes motorizações.

Tabela 3.15: Quadro resumo do custo com as fontes energéticas para diferentes motorizações

Motorização	Fonte energética	Custo com a fonte energética para diferentes motorizações						
		Portugal	Brasil	USA	UK			
		(€/100km)	(R\$/100km)	(€/100km)	(\$/100km)	(€/100km)	(£/100km)	(€/100km)
PISI	Gasolina	11.98	23.20	7.09	6.28	4.90	9.65	11.52
	GPL	8.50	-	-	-	-	-	-
	Gás Natural	4.72	-	-	-	-	-	-
	Álcool	-	58.91	18.00	-	-	-	-
DISI	Gasolina	11.55	22.38	6.84	6.58	4.73	9.31	11.11
	GPL	8.19	-	-	-	-	-	-
	Gás Natural	4.30	-	-	-	-	-	-
	Álcool	-	56.49	17.26	-	-	-	-
DICI	Gasóleo	7.36	12.56	3.84	5.41	3.89	7.15	8.53
	Gasóleo agrícola	5.20	-	-	-	-	-	-
	Biodiesel	14.35	-	-	11.70	8.40	-	-
Hybrid DISI	Gasolina	8.03	15.56	4.75	4.57	3.28	6.47	7.73
	Álcool	-	39.28	12.00	-	-	-	-
Hybrid DICI	Gasóleo	5.80	9.90	3.02	4.26	3.06	5.63	6.72
	Gasóleo agrícola	4.10	-	-	-	-	-	-
	Biodiesel	11.30	-	-	9.21	6.62	-	-
PHEV DISI	Gasolina	7.27	-	-	-	-	-	-
PHEV DICI	Gasóleo	5.71	-	-	-	-	-	-
	Gasóleo agrícola	4.49	-	-	-	-	-	-
	Biodiesel	9.65	-	-	-	-	-	-
REEV SI	Gasolina	6.33	-	-	-	-	-	-
BEV	Eletricidade	5.45	-	-	-	-	-	-
FCEV	Hidrogénio	-	-	-	-	-	5.38	6.42

Analisando os valores obtidos na tabela 3.15, verifica-se que o veículo elétrico a baterias não é a solução que apresenta o menor gasto a cada 100 km. O gasóleo agrícola, independentemente da motorização, apresenta melhores valores do que o veículo elétrico a baterias.

É importante referir que o valor elevado do gasto a cada 100km da solução elétrica a baterias é altamente influenciado pelo valor apresentado na tabela da análise WTT, pois nesta a eletricidade possui um valor muito elevado, $1.44 MJ_{xt} / MJ_f$ (significa que é necessário gastar 1.44 MJ de energia para produzir 1 MJ de energia elétrica) face aos $0.16 MJ_{xt} / MJ_f$ do gasóleo ou gasóleo agrícola. Sendo o valor referido ($1.44 MJ_{xt} / MJ_f$) um valor médio dos vários processos de produção da energia elétrica, este valor pode estar sujeito a erros e daí o seu valor excessivo. Na melhor das hipóteses, se a energia elétrica fosse proveniente de um gerador eólico ($\simeq 0 MJ_{xt} / MJ_f$, ver gráfico A.15 do anexo A), o resultado obtido seria diferente (ver cálculo 3.7) e a solução veículo elétrico a baterias seria a melhor.

Para este caso:

- Valor do balanço energético para a análise WTT: $\simeq 0 MJ_{xt} / MJ_f$
- Valor do balanço energético para a análise TTW: 52.116 MJ/100km (Tabela 3.2)
- Aplicando a equação 3.1, o valor da análise WTW passaria a ser igual à da análise TTW
Energia consumida aos 100km (WTW): 52.16 MJ/100km = 14.49 kWh/100km

Em Portugal:

- Valor da energia elétrica (em Portugal): 0.1543 €/kWh

- Custo com o energia elétrica:

$$0.1543\text{€/kWh} \times 14.49\text{kWh}/100\text{km} \simeq 2.24\text{€/100km} \quad (3.7)$$

Apresentados estes factos e comparando as vantagens, a nível energético e de emissões, da utilização do veículo elétrico a baterias, considera-se esta a melhor opção como fonte energética alternativa a utilizar na continuação deste estudo.

Capítulo 4

Jornadas técnicas

4.1 Jornada técnica na UTAD, CEVD e Quinta D. Matilde

No dia 20 de Março de 2014 realizou-se uma jornada técnica na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), no Centro de Estudos Vitivinícolas do Douro (CEVD) e na Quinta D. Matilde, com o objetivo de recolher informação importante para o desenvolvimento deste estudo.

Visitando o hangar de agronomia do departamento de engenharia rural, da UTAD, foi possível observar algumas equipamentos agrícolas utilizadas e alguns tratores que possuem. Neste mesmo hangar têm um protótipo, da marca Pagani, utilizado para fazer furos.

Este protótipo possui lagartas de borracha, um motor da marca Briggs-Stratton Vanguard de 18hp. O movimentação do veículo e as suas funções são realizadas hidraulicamente.

Inconvenientes apontados a esta máquina:

- Instabilidade, principalmente em inclinação e irregularidades do terreno;
- baixa durabilidade (h) das lagartas de borracha.



Figura 4.1: Protótipo Pagani

Na UTAD tivemos acesso a alguma informação dada pelo Engenheiro Fernando Santos que fez um estudo ao protótipo MultiJyp da marca Chappot (veículo presente no CEVD), Projecto AGRO nº 163 - Mecanização das vinhas da Região Demarcada do Douro. Observações feitas:

- Há a necessidade de unidades motrizes adaptáveis;
- Pretende-se manter a estrutura das vinhas por motivos enológicos e paisagísticos;
- O custo de aquisição da máquina MultiJyp rondou os 25 mil €, que mais os acessórios ficou perto dos 50 mil €
- Foi-nos indicado que as lagartas de borracha neste veículo teriam uma duração de apenas 300h, apresentando pouca duração e um custo elevado.

O Sr. Monteiro, manobrador de máquinas que conduziu o veículo MultiJyp, indicou-nos de um problema que o joystick tinha, que é muito sensível à vibração do motor e que provoca a movimentação desapropriada do veículo.

O MultiJyp referido apresenta falta de peso, que juntamente com o facto de ser estreito e alto contribui para a instabilidade da máquina e baixa força de tração à barra. Este veículo permite corretamente o transporte e pulverização no terreno. Na pré-poda tornava-se instável e perigoso devido ao centro de massa deslocado, pela altura do equipamento utilizado para este efeito. O único elemento de conforto que tem é um sistema de molas no assento (regulável consoante o peso), que amortece alguma vibração da máquina. O facto do veículo ser tão compacto e com a elevada altura do motor, não apresenta muito espaço para o posicionamento do manobrador, o que contribui para a falta de ergonomia deste.



Figura 4.2: MultiJyp - CEVD



Figura 4.3: MultiJyp - CEVD



Figura 4.4: MultiJyp - CEVD

Na visita à Quinta D. Matilde, foi possível ver um trator de lagartas (marca New Holland) em funcionamento nas vinhas ao alto. Segundo o manobrador o facto da utilização das lagartas na subida e na descida torna o veículo mais seguro do que a utilização de rodas. Esta Quinta durante a época da vindima utiliza entre 16 a 20 pessoas para realizar as funções necessárias da apanha da uva, possui cerca de 27 hectares de terreno, tem vinhas ao alto, vinhas em patamares e vinhas tradicionais. A distância entre bardos na vinha ao alto encontra-se entre os 2m e os 2.20 m, já na vinha em patamares os bardos apresentam uma distância de cerca de 1m. A vinha em patamares desta Quinta têm patamares com 1 ou 2 bardos. As vinhas ao alto apresentam uma inclinação de quase 50%. O trator da New Holland que possuem nesta Quinta apresenta um consumo de 25l em 8h de trabalho (3.125 l/h), a uma média de velocidade de 2km/h. O manobrador considerou o veículo confortável. Segundo o que nos foi indicado um veículo destes tem um preço entre os 27 e os 28 mil €. Nesta Quinta utilizam um depósito de 400L de gasóleo para abastecer os veículos que trabalham na Quinta.



Figura 4.5: Trator New Holland



Figura 4.6: Trator New Holland em subida



Figura 4.7: Trator New Holland em descida



Figura 4.8: Vinhas ao alto da Quinta Dona Matilde



Figura 4.9: Vinhas tradicionais da Quinta Dona Matilde

4.2 Jornada técnica na Quinta do Noval

No dia 15 de abril foi realizada uma visita à Quinta do Noval. A visita foi guiada pelo Engenheiro José Eduardo Costa.

A visita teve como objectivo conhecer os dois MultiJyp's que têm naquela quinta, em que um deles já chegou ao fim de vida tendo apenas um veículo daqueles operacional. Para além destes dois veículos têm um novo MultiJyp encomendado.



Figura 4.10: Quinta do Noval - vista com alguns patamares de vinhas

4.2.1 MultiJyp 1

O MultiJyp mais antigo tem 17 anos, este veículo tem 33cv (igual ao do centro de estudos CEVD). Tal como o veículo do CEVD, este apresenta uma largura de 800 mm e foi

indicado igualmente como um veículo instável. Este veículo já chegou ao seu fim de vida, devido aos vários problemas mecânicos que possui.



Figura 4.11: MultiJyp 1 - Quinta do Noval

4.2.2 MultiJyp 2

O segundo MultiJyp é o veículo mais recente desta marca que utilizam neste momento. Este tem 45cv e segundo o Engenheiro José Eduardo Costa tem um preço de 45 mil euros (nova), apenas a máquina (sem as alfaías).



Figura 4.12: MultiJyp 2 - Quinta do Noval



Figura 4.13: MultiJyp 2 - Quinta do Noval



Figura 4.14: Quinta do Noval - Vista de um patamar com 3 bardos

Nesta visita tomamos nota de diversas dimensões deste veículo:

- Comprimento total da base: 2.10m
- Altura total: 2m
- Altura das lagartas: 350mm
- Largura total: 910mm (Com esta largura o veículo é estável)
- Largura lagartas: 230mm
- Altura da plataforma (superfície superior): 400mm

- Altura do assento: 1m
- Altura da base ao solo: 125mm
- Comprimento das lagartas: 1560mm
- Comprimento total (com pulverizador): 2.650m

Algumas observações feitas pelo Engenheiro José Eduardo Costa relativamente ao segundo MultiJyp:

- Massa da máquina: 950 kg (1200/1300 kg com alfaia)
- Depósito combustível: 36L
- Cada lagarta de borracha custa 250€
- Apenas a máquina mais recente permite a despona (por motivo de estabilidade)
- Optaram por máquina com lagartas de borracha (As lagartas metálicas utilizadas pela MultiJyp apresentam maior desgaste)
- Este MultiJyp já não apresenta problemas de sobreaquecimento
- Todos os equipamentos são da Chappot ou da Pellenc (adaptados)
- Média de 500h de trabalho por ano de utilização da máquina
- Na Quinta do Noval a máquina podia ter até 1m de largura
- Não têm destroçadora
- Pretendem fazer adubação e a MultiJyp ainda não tem essa alfaia.

4.2.3 Características da Quinta do Noval

- 28 hectares com 1.6m de largura entre bardos (largura mínima)
- 45 hectares vinha tradicional
- 10 hectares de vinha ao alto com 2m de largura entre bardos
- 147 hectares no total
- Densidade: 4000 pés por hectare
- Até 30% de inclinação entre patamares
- Inclinação do patamar da vinha tradicional: 10% a 15%

Capítulo 5

Principais tarefas a serem desempenhadas pelo veículo

Nas vinhas estreitas e inclinadas, com largura entre bardos de 0.8 a 1.2m e com pendentes que podem ser superiores a 50%, existe a necessidade de mecanização de forma a haver um aumento de produtividade na produção vitícola destas explorações.

Neste capítulo pretende-se enunciar algumas tarefas que um veículo, para trabalhar neste tipo de vinhas, terá de desempenhar.

Existe a necessidade de mecanização para as seguintes tarefas:

- Pré-poda
- Desponta
- Triturar sarmentos
- Mobilização do solo
- Pulverizar
- Transportar

Nas seções seguintes apresenta-se algumas características das alfaias utilizadas para realizar estas tarefas, nomeadamente a nível de dimensões e peso, e, se o seu acionamento é feito pela tomada de força ou pelas tomadas hidráulicas. Toma-se como referência as alfaias utilizadas pelo MultiJyp já que se adaptam a um veículo que opera neste tipo de vinhas.

5.1 Pré-poda

A operação de pré-poda é cada vez mais feita através de meios mecanizados, tem como vantagens facilitar a realização da poda e contribuir para uma redução dos custos com a poda, em cerca de 30% [13]. A pré-poda mecanizada é efetuada pela pré-podadora.

A pré-podadora, da marca Pellenc, utilizada no MultiJyp (figura 5.1) é constituída por: [3]

- Cabeça de corte equipada com um rotor interior com 4 discos de corte e um rotor exterior com 4 discos de fixação;

- Base de suporte com 3 macacos hidráulicos que permitem a regulação da altura, da verticalidade e do deslocamento lateral da alfaia;
- Sistema hidráulico para afastamento dos rotores.

Este equipamento faz uso da tomada das tomadas hidráulicas para o seu funcionamento.



Figura 5.1: Pré-podadora utilizada no MultiJyp [3]

Algumas características da pré-podadora, da marca Pellenc, utilizada no MultiJyp: [3]

- Altura de corte: 450 mm
- Diâmetro de corte das facas horizontais: 600 mm
- Deslocamento lateral máximo: 850 mm
- Altura máxima da cabeça de corte ao solo: 1950 mm
- Massa: 279 kg
- Rotação máxima: 280 rpm
- Velocidade de deslocamento: 0.36 - 0.42 m/s (1.3 - 1.5 km/h) [32]

5.2 Desponta

A máquina de desponta destina-se a cortar parte dos lançamentos que durante o período de crescimento apresentem um maior desenvolvimento, por forma a obter-se uma sebe bem definida [3]. A alfaia utilizada para esta tarefa é a despontadora. Esta alfaia faz uso das tomadas hidráulicas para o seu funcionamento.

A despontadora, da marca Pellenc, utilizada no MultiJyp (figura 5.2) é constituída por: [35]

- Duas lâminas alternativas para corte vertical da vegetação;

- Um rotor, com duas facas escamoteáveis, para corte horizontal do topo da vegetação;
- Uma base de suporte com 3 macacos hidráulicos que permitem a regulação da altura, deslocamento lateral da alfaia e verticalidade.



Figura 5.2: Despontadora [3]

Algumas características da despontadora utilizada no MultiJyp: [35]

- Diâmetro da secção de corte efetuada pelas facas: 600mm;
- Diâmetro do disco onde estão montadas as facas: 350mm;
- Deslocamento lateral:
 - Distância máxima do centro do MultiJyp ao centro da despontadora: 850mm;
 - Distância mínima do centro do MultiJyp ao centro da despontadora: 430mm;
- Deslocamento vertical:
 - Distância máxima e mínima da plataforma do MultiJyp à barra transversal onde está montado o rotor de corte: 1500 e 1250mm;
 - Distância da plataforma ao solo: 410mm.
- Velocidade de deslocamento: 0.25 - 0.67 m/s (0.9 - 2.4 km/h) [32]

5.3 Triturar sarmentos

Os trituradores de sarmentos são equipamentos utilizados para destruir o material resultante da poda, facilitando a sua incorporação no solo [3].

A alfaia utilizada para esta tarefa é o triturador de sarmentos. Algumas destas alfaias fazem uso da tomada de força e das tomadas hidráulica para o seu funcionamento.

O triturador de sarmentos, da marca Pellenc, utilizada no MultiJyp (figura 5.3) é constituída por: [3]

- Constituído por um rotor horizontal com 6 martelos
- Rolo de compactação em chapa de aço montado na parte anterior do rotor de martelos
- Rolo de protecção em chapa de aço montado na parte anterior do rotor de martelos



Figura 5.3: Triturador de sarmentos [36]

Algumas características do triturador de sarmentos utilizado no MultiJyp: [3]

- Largura de trabalho: 900mm
- Distância entre martelos: 150mm
- Diâmetro do rolo de compactação: 120mm
- Diâmetro do rolo de protecção: 300mm
- Massa: 320kg [32]
- Velocidade de deslocamento: $< 0.56 \text{ m/s}$ (2 km/h) [32]

5.4 Mobilização do solo

Esta tarefa consiste no arejamento do solo e combate de infestantes [3]. Uma das alfaías utilizada para esta tarefa é a enxada mecânica. Este equipamento faz uso das tomadas hidráulicas para o seu funcionamento.

Existem também outros tipos de equipamento utilizados para esta tarefa como é o caso da charrua e do escarificador, em que estas não necessitam da tomada de força nem das tomadas hidráulicas para o seu funcionamento, mas este tipo de equipamentos não trabalham com o MultiJyp, que devido à sua massa não permite desenvolver força de tração à barra suficiente.



Figura 5.4: Enxada mecânica [32]

Características da enxada mecânica utilizada no MultiJyp: [3]

- Número de facas: 6;
- Montagem na plataforma com sistema de elevação e fixação em três pontos;
- Largura de trabalho: 950 mm;
- Comprimento: 600 mm;
- Massa: 160 kg;
- Velocidade de deslocamento 0.54 - 0.58 m/s (1.94 - 2.08 km/h) [32]

5.5 Pulverizar

A alfaia utilizada para esta tarefa é o pulverizador. Esta alfaia faz uso da tomada de força para o seu funcionamento.

O pulverizador utilizado no MultiJyp (figura 5.5) é constituída por: [32]

- Depósito 200 l, em poliéster;
- Bomba de êmbolos de acionamento hidráulico, com débito máximo de 40 l / min. a 30 bar;
- Ventilador axial de 500 mm, accionado pela TDF e com 8 pás orientáveis.



Figura 5.5: Pulverizador [35]

Algumas características do pulverizador utilizado no MultiJyp: [32]

- Massa: 110kg
- Velocidade de deslocamento: 1.4 - 1.67 m/s (5.0 - 6.0 km/h)

5.6 Transporte

Transporte da lenha da pré-poda retirada e recolha das caixas da vindima. No caso do contentor de transporte ser basculante necessitará de tomadas hidráulicas para esse efeito.



Figura 5.6: Contentor basculante [3]

A caixa de transporte tem as seguintes características: [35]

- Comprimento: 980mm
- Largura: 580mm
- Altura: 660mm
- Massa: 70kg
- Capacidade: ± 375 L

Capítulo 6

Consumo energético e autonomia

Neste capítulo são feitos alguns cálculos de forma a determinar a potência máxima necessária para o veículo, a inclinação máxima a partir da qual o veículo perde tração (à medida que a inclinação da encosta aumenta diminui a força de tração disponível) e a capacidade necessária para a fonte energética (capacidade das baterias elétricas). Os cálculos foram feitos para a solução utilizando rodas com pneus de borracha e também para a situação de rastos (lagartas metálicas).

6.1 Força e potência necessárias para a movimentação do veículo e das alfaias

Com o objectivo de determinar a potência máxima para a movimentação e da utilização de algumas alfaias, numa primeira instância identifica-se a força necessária para estas funções, cujas alfaias penetram a terra, aumentando assim a força necessária para a movimentação do veículo. As alfaias a analisar na secção seguinte são: a charrua vinhateira e o escarificador.

6.1.1 Alfaias

Nesta subsecção apresentam-se assim os dados da força de tração de alguns ensaios anteriores e das condições em que estes foram realizados.

Charrua vinhateira:

A charrua é apoiada no sistema tripolar de engate, a alfaia é arrastada pelo veículo e não necessita da tomada de força nem das tomadas hidráulicas para o seu funcionamento.

Dados obtidos em solos com teores de humidade de $\pm 20\%$, cobertura pedregosa de $\pm 10\%$ e uma cobertura herbácea de 15 – 20% [37].

Tabela 6.1: Força de tração utilizando a charrua [37]

Tipo de charrua	Força de tração (kN)		
	Profundidade de trabalho		
	10 cm	15 cm	20 cm
4 corpos simples + ferro extirpador	8.17	14.23	22.39
4 ferros simples + corpo duplo	6.14	14.53	22.95
Corpo simples	1.54	2.74	4.32
Corpo duplo	1.98	3.58	5.66
Ferro extirpador	2.02	3.28	5.11

Equação para cálculo de potência, tendo a conta a força necessária para arrastar e velocidade pretendida:

$$P[kW] = \frac{F[kN] \times V[km/h] \times 1000}{3600} \quad (6.1)$$

Condição máxima apresentada:

- Profundidade: 20 cm
- Força de tração: 22.95 kN
- Velocidade: 2 km/h (velocidade média utilizada pela maioria das alfaías, ver capítulo 5)
- Potência necessária: 12.75 kW (calculado a partir da equação 6.1)

Escarificador:

O escarificador é apoiado no sistema tripolar de engate, a alfaia é arrastada pelo veículo e não necessita da tomada de força nem das tomadas hidráulicas para o seu funcionamento.

Dados obtidos em solos com teores de humidade de $\pm 20\%$, cobertura pedregosa de $\pm 10\%$ e uma cobertura herbácea de 15 – 20%, utilizando um escarificador de cinco dentes articulados, molas duplas e ferros de escarificação, com uma largura de $\pm 6 - 7$ cm, ou de extirpação, com ± 25 cm [37].

Tabela 6.2: Força de tração utilizando o escarificador [37]

Tipo de escarificador	Força de tração (kN)			
	Profundidade de trabalho			
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
5 dentes de escarificação	2.93	4.73	7.32	10.70
5 dentes de extirpação	3.21	6.70	10.74	
1 dente de escarificação	0.59	0.95	1.46	2.14
1 dente de extirpação	0.64	1.34	2.15	
Escarificação, por m de largura	2.17	3.50	5.42	7.92
Extirpação, por m de largura	2.38	4.96	7.96	

Condição máxima apresentada:

- Profundidade: 20 cm
- Força de tração: 10.7 kN
- Velocidade: 2 km/h (velocidade média utilizada pela maioria das alfaías, ver capítulo 5)
- Potência necessária: 5.94 kW (calculado a partir da equação 6.1)

6.2 Tomada de Força

A tomada de força de um trator pode ter 3 relações de transmissão, com as seguintes rotações normalizadas: 540rpm, 750rpm e 1000rpm [29].

Com o objetivo de se fazer os cálculos para a potência máxima necessária para o veículo é necessário assumir os valores de rotação e binário requeridos para o funcionamento da tomada de força, essencial para o funcionamento de algumas alfaías ligadas ao veículo. Assim, utiliza-se o gráfico da figura seguinte para determinar esse valores.

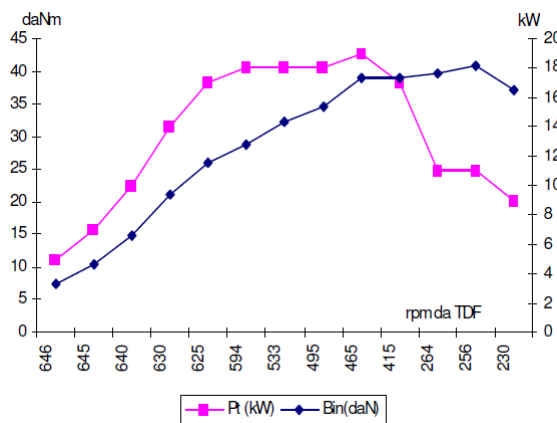


Figura 6.1: Curvas de potência e binário obtidas num trator da UTAD [33]

O gráfico da figura 6.1 mostra as curvas de potência e binário de um trator da UTAD, obtidos através da utilização de um freio elétrico. Como se verifica no gráfico, este atinge uma potência máxima de $\pm 19 \text{ kW}$ (25.8 cv) valor próximo da potência do MultiJyp 1, como tal, utiliza-se estes valores como referência para os cálculos desta secção.

Assim, considera-se os seguintes dados:

- Rotação (n): 540 rpm
- Binário (M): 300 N.m (valor obtido para a rotação normalizada de 540 rpm)
- Rendimento (η_{TDF}): 90%

Para a determinação da potência necessária para o acionamento da tomada de força, como as medições neste veículo são feitas por um freio ligado a esta, é necessário introduzir um rendimento (90%) resultante das perdas existentes na transmissão do movimento do motor para a tomada de força.

Potência para acionamento da tomada de força:

$$P_{TDF} = \frac{n \times M \times 2\pi/60}{\eta_{TDF}/100} \quad (6.2)$$

$$P_{TDF} = \frac{540 \times 300 \times 2\pi/60}{90/100} = 18849.6W \quad (6.3)$$

Tendo por base o cálculo efetuado, assume-se este valor (18849.6 W) como potência necessária para a motorização de forma a accionar a tomada de força.

6.3 Bomba hidráulica

Com o objetivo de se fazer os cálculos para a potência máxima necessária para o veículo é necessário estimar também valores de caudal e pressão requeridos para o funcionamento do sistema hidráulico do trator. Assim, utiliza-se os gráficos das figuras seguintes para determinar esse valores.

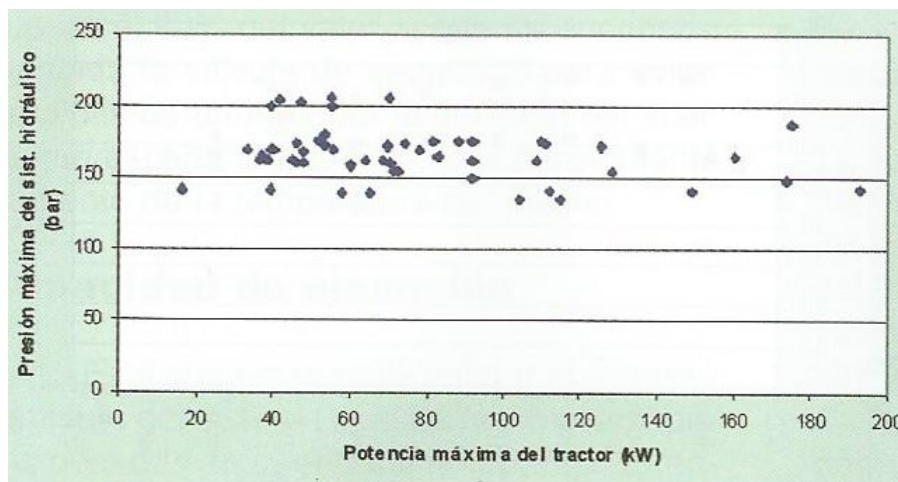


Figura 6.2: Pressão da bomba para determinada potência do trator [29]

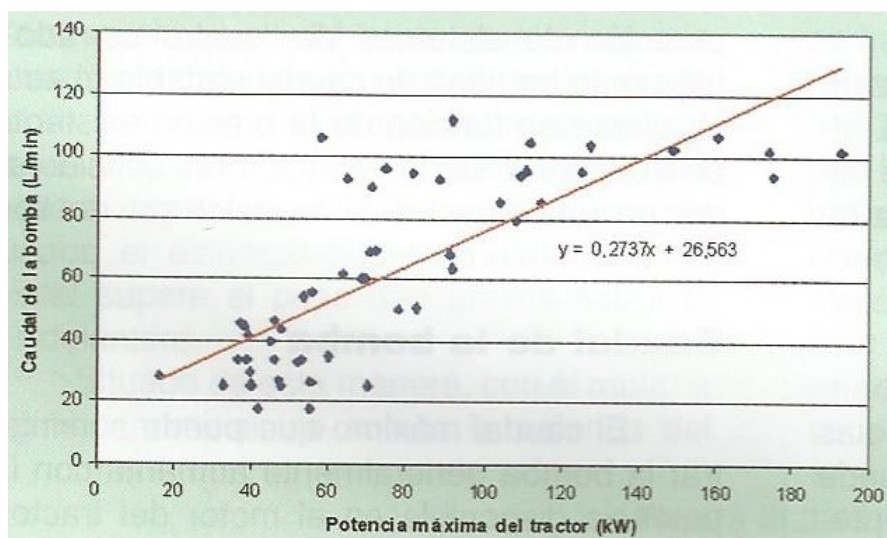


Figura 6.3: Caudal da bomba para determinada potência do trator [29]

À semelhança do que foi feita para a tomada de força, os valores de pressão e caudal da bomba foram obtidos para potências do motor próximas de 20kW.

- Pressão (p): $140 \text{ bar} = 140 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
- Caudal (Q): $30 \text{ l/min} = 30 \times 10^{-3} / 60 \text{ m}^3/\text{s} = 0.00050 \text{ m}^3/\text{s}$
- Rendimento (η_H): 90 %

Potência para acionamento da bomba hidráulica:

$$P_H = \frac{p \times Q}{\eta_{P_H}/100} \quad (6.4)$$

$$P_H = \frac{140 \times 10^5 \times 0.00050}{90/100} = 7777.8 \text{ W} \quad (6.5)$$

Assim, o valor de 7777.8 W será utilizado como a potência necessária ao motor para o acionamento da bomba hidráulica para as funções que a exijam (como as tomadas hidráulicas ou os hidráulicos do sistema tripolar de engate).

6.4 Determinação da potência máxima

Nesta secção, após a determinação da potência necessária para o acionamento da bomba hidráulica e da tomada de força, calcula-se a potência para a movimentação do veículo e a potência máxima necessária para que o veículo cumpra as suas funções, para os casos de utilização de rodas com pneus de borracha e de rastos.

6.4.1 Utilização de rodas com pneus de borracha

Os coeficientes de seguida apresentados são referentes a rodas com pneus de borracha. A utilização de pneus de borracha proporciona algum amortecimento ao veículo.

Valores do coeficiente de resistência ao rolamento em diferentes tipos de solos:

Tabela 6.3: Valores do coeficiente de resistência ao rolamento [29]

Natureza e estado do solo	Coeficiente de resistência ao rolamento
Estrada em bom estado	0.02 - 0.04
Caminho de terra firme	0.03 - 0.05
Caminho de terra	0.04 - 0.06
Terreno baldio	0.06 - 0.10
Palha seca	0.08 - 0.10
Terra lavrada	0.10 - 0.20
Areia e solo muito solto	0.15 - 0.30

Tabela 6.4: Valores de escorregamento e eficiência à tração [29]

Tipo de solo	Escorregamento (%)	Eficiência à tração
Duro	4 - 8	0.93
	8 - 10	0.78
	11 - 13	0.52
Macio	14 - 16	0.52

Tabela 6.5: Valores do coeficiente de tração para rodas com pneus de borracha [34]

Tipo de solo	Coeficiente de tração (μ)	
	Seco	Húmido
Argila dura	0.6 - 1.0	0.1 - 0.3
Argiloso duro	0.5 - 0.8	0.15 - 0.4
Arenoso firme	0.4 - 0.8	0.25 - 0.8
Argiloso esponjoso	0.4 - 0.6	0.15 - 0.3
Argiloso com trilhos (rodeiras)	0.3 - 0.5	0.15 - 0.3
Solo com cascalho duro	0.5 - 0.8	0.3 - 0.9
Cascalho não compactado	0.3 - 0.5	0.4 - 0.6
Cascalho solto	0.2 - 0.4	0.3 - 0.5
Areia solta	0.1 - 0.2	0.1 - 0.4

Nos cálculos a apresentar nas seções seguintes consideram-se os seguintes dados:

- Massa do trator (m_t): 800 kg
- Declive do terreno (d): 0 %
- Velocidade real (V_r): 2 km/h
- Coeficiente de resistência ao rolamento (K): 0.1 (Terra lavrada)
- Coeficiente de tração do pneu (μ): 0.4 (Cascalho solto)

- Escorregamento (E): 10 %
- Eficiência de tração (E_{ft}): 0.75

Os cálculos e conceitos utilizados nesta secção têm como base o documento: Considerações gerais sobre teoria de tração [34].

Conceitos importantes a definir nesta secção:

- Coeficiente de tração (μ): O coeficiente de tração é relação entre a força máxima de tração à barra e a carga dinâmica nas rodas motrizes [34].
- Coeficiente de resistência ao rolamento (K): O coeficiente de resistência ao rolamento é a relação entre a força de tração necessária para o trator se deslocar num plano horizontal e a sua massa [34].
- Escorregamento (E): O escorregamento (E) dos órgãos de locomoção é a perda de velocidade provocada pela força de tração e é tanto mais elevado quanto maior for esta força. As perdas por escorregamento representam as perdas de potência à tração. [34].
- Eficiência à tração (E_{ft}): A eficiência à tração traduz a eficiência com que a roda converte a potência do eixo motriz em potência à tração.
- Potência à tração (P_M): A potência à tração é a potência disponível à realização de trabalho.
- Potência no eixo motriz (P_e): A potência no eixo motriz é a potência utilizada para o seu acionamento.

Força de tração do pneu (para um trator com tração às 4 rodas):

$$F_t = m_t \times g \times \mu \quad (6.6)$$

Força de resistência ao rolamento:

$$R_r = m_t \times g \times K \quad (6.7)$$

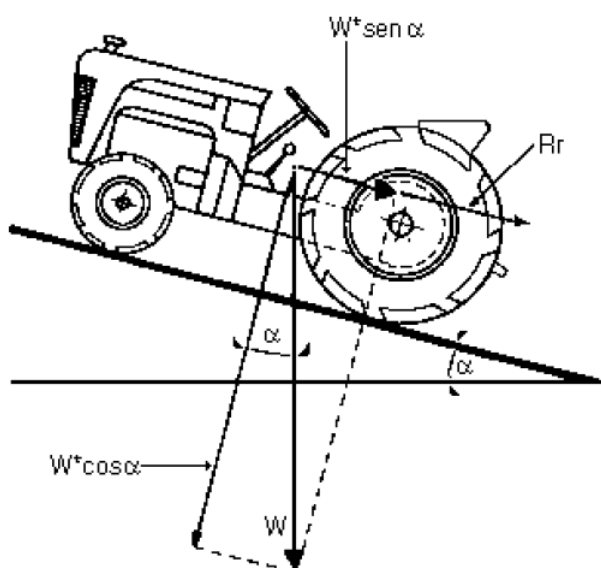


Figura 6.4: Representação das forças resultantes de um trator num plano inclinado [34]

Força devido à inclinação do terreno (componente da força tangencial ao solo):

$$F_d = \frac{m_t \times g \times d}{100} \quad (6.8)$$

m_t = Massa do trator

μ = Coeficiente de tração do pneu

K = Coeficiente de resistência ao rolamento

d = Declive (%)

Os cálculos seguintes terão em consideração o trabalho do veículo em patamares planos, ou seja, com declive nulo. Estes cálculos serão essenciais para a determinação da capacidade necessária para a fonte energética (baterias).

A força necessária para o movimento é dada pelo somatório das forças apresentadas anteriormente.

Força necessária para o movimento:

$$F_M = F_t + R_r + F_d \quad (6.9)$$

$$F_M = m_t \times g \times \mu + m_t \times g \times K + \frac{m_t \times g \times d}{100} \quad (6.10)$$

$$F_M = 800 \times 9.8 \times 0.4 + 800 \times 9.8 \times 0.1 + \frac{800 \times 9.8 \times 0}{100} = 3920N \quad (6.11)$$

Escorregamento:

$$E = \frac{V_t - V_r}{V_t} \times 100 \quad (6.12)$$

V_t = Velocidade teórica

V_r = Velocidade real

Velocidade teórica:

$$V_t = \frac{V_r}{1 - E/100} \quad (6.13)$$

$$V_t = \frac{2}{1 - 10/100} = 2.22km/h \quad (6.14)$$

Potência à tração necessária para o movimento:

$$P_M = F_M \times V_t \times 1000/3600 \quad (6.15)$$

$$P_M = 3920 \times 2.22 \times 1000/3600 = 2419.8W \quad (6.16)$$

Eficiência à tração:

$$Ef_t = \frac{P_M}{P_e} \quad (6.17)$$

Potência do eixo motriz necessária para o movimento:

$$P_e = \frac{P_M}{Ef_t} \quad (6.18)$$

$$P_e = \frac{2419.8}{0.75} = 3226.3W \quad (6.19)$$

Potência total necessária na utilização de algumas alfaias

Neste tópico é realizado o cálculo da potência total na utilização das alfaias: charrua vinhateira e escarificador. Com potência total refere-se à potência necessária para a movimentação do veículo e mobilização.

Potência necessária para a mobilização do solo utilizando a charrua vinhateira:

Condição máxima apresentada:

- Profundidade: 20 cm
- Força de tração: 22.95 kN
- Velocidade: 2 km/h
- Potência necessária: 12.75 kW

$$\text{Potência total}_{(\text{Movimento} + \text{mobilização do solo})} = 3226.3 + 12750 = 15976.3W \quad (6.20)$$

Potência necessária para a mobilização do solo utilizando o escarificador:
Condição máxima apresentada:

- Profundidade: 20 cm
- Força de tração: 10.7 kN
- Velocidade: 2 km/h
- Potência necessária: 5.94 kW

$$\text{Potência total}_{(\text{Movimento} + \text{mobilização do solo})} = 3226.3 + 5944.4 = 9170.7W \quad (6.21)$$

Dos dois cálculos apresentados nesta subsecção, a que requiere uma maior potência é na situação da utilização da charrua vinhateira. Estes cálculos não são suficientes para a determinação da potência máxima, já que não apresentam os valores da potência necessária para a bomba hidráulica (necessária para alimentar algumas alfaias) e da tomada de força (necessária para transmitir movimento rotativo a algumas alfaias). Mas os cálculos efetuados são importantes pois a potência necessária para a motorização terá de ser superior aos valores apresentados anteriormente.

Potência máxima

Nesta subsecção assume-se que a potência máxima resulta do somatório das potências necessárias para a movimentação, sistema hidráulico e tomada de força.

A tomada de força é a parcela que tem maior influência na potência necessária para o veículo.

$$P_{\text{Máxima}} = P_m + P_H + P_{TDF} = 3226.3 + 7777.8 + 18849.6 = 29853.7W \quad (6.22)$$

O valor obtido é o da potência máxima necessária para as operações do veículo, utilizando rodas com pneus de borracha.

6.4.2 Utilização de rastos

A utilização de rastos relativamente à utilização de pneus tem a vantagem da diminuição da compactação do solo e tem uma maior capacidade de tração, devido à maior superfície de contacto com o solo.

Os coeficientes de seguida apresentados são referentes à utilização a rastos (lagartas metálicas).

Tabela 6.6: Valores do coeficiente de resistência ao rolamento e de tração [29]

Coeficiente de resistência ao rolamento (k) e de tração (μ)		
Natureza e estado do solo	Coeficiente k	Coeficiente μ
Caminho de terra firme e seco	0.05 - 0.07	0.9 - 1.1
Solo baldio muito compacto	0.06 - 0.07	1.0 - 1.2
Terreno baldio (3-4 anos)	0.06 - 0.07	0.9 - 1.1
Palha seca	0.06 - 0.08	0.8 - 1.1
Terra lavrada	0.08 - 0.10	0.6 - 0.8
Terra preparada para plantar	0.09 - 0.12	0.6 - 0.7
Solo pantanoso seco	0.11 - 0.14	0.4 - 0.6
Caminho de neve compactado	0.06 - 0.07	0.5 - 0.7

Nos cálculos a apresentar nas seções seguintes consideram-se os seguintes dados:

- Massa do trator (m_t): 800 kg
- Declive do terreno (d): 0 %
- Velocidade real (V_r): 2 km/h
- Coeficiente de resistência ao rolamento (K): 0.1
- Coeficiente de tração do rasto (μ): 0.7 (Terra lavrada)
- Escorregamento (E): 10 %
- Eficiência de tração (E_{ft}): 0.75

Neste caso de utilização de rastos segue-se o mesmo raciocínio de cálculo das rodas com pneus de borracha. Força necessária para o movimento:

$$F_M = 800 \times 9.8 \times 0.7 + 800 \times 9.8 \times 0.1 + \frac{800 \times 9.8 \times 0}{100} = 6272N \quad (6.23)$$

Velocidade teórica:

$$V_t = \frac{2}{1 - 10/100} = 2.22 \text{ km/h} \quad (6.24)$$

Potência à tração necessária para o movimento:

$$P_M = 6272 \times 2.22 \times 1000/3600 = 3871.6 \text{ W} \quad (6.25)$$

Potência do efetiva:

$$P_e = \frac{3871.6}{0.75} = 5162.1 \text{ W} \quad (6.26)$$

Potência total necessária na utilização de algumas alfaia

Potência necessária para a mobilização do solo utilizando a charrua vinhateira:

$$\text{Potência total}_{(\text{Movimento} + \text{mobilização do solo})} = 5162.1 + 12750 = 17912.1 \text{ W} \quad (6.27)$$

Potência necessária para a mobilização do solo utilizando o escarificador:

$$\text{Potência total}_{(\text{Movimento} + \text{mobilização do solo})} = 5162.1 + 5944.4 = 11106.5 \text{ W} \quad (6.28)$$

Potência máxima

$$P_{\text{Máxima}} = P_m + P_H + P_{TDF} = 5162.1 + 7777.8 + 18849.6 = 31789.5 \text{ W} \quad (6.29)$$

O valor obtido é o da potência máxima necessária para as operações do veículo, utilizando lagartas metálicas.

Pelo resultado da potência máxima apresentada verifica-se que a utilização de rastos aumenta a potência necessária para a movimentação do veículo em quase 2kW o que afecta o consumo de energia e autonomia do veículo, provocando o aumento destes.

6.5 Determinação da inclinação máxima

Nesta secção, pretende-se determinar a inclinação máxima a partir da qual o veículo perde capacidade de tração, para os casos de utilização de rodas com pneus de borracha e de rastos. Com isto pretende-se saber qual destes dois casos (rodas ou rastos) se adequa melhor às características da Região Demarcada do Douro.

6.5.1 Utilização de rodas com pneus de borracha

Para que o veículo se desloque, é necessário que este vença o atrito entre as rodas e o solo, que são função da massa do veículo em questão, do tipo de pneus, do declive e condições do solo.

Assim, a resultante das forças provocadas pelo força de tração, resistência ao rolamento e força tangencial à superfície terão de ser superiores a zero.

Os cálculos e conceitos utilizados nesta secção têm como base o documento: Considerações gerais sobre teoria de tração [34].

$$m_t \times g \times \mu - m_t \times g \times K - \frac{m_t \times g \times d}{100} > 0 \quad (6.30)$$

$$\mu - (K + \tan \alpha) > 0 \quad (6.31)$$

Com $\tan \alpha = \frac{d}{100}$

Para declive nulo e massa de 800 kg:

- Força à barra de tração:

$$F_r = m_t \times g \times \mu - m_t \times g \times K - \frac{m_t \times g \times d}{100} \quad (6.32)$$

$$F_r = 800 \times 9.8 \times 0.4 - 800 \times 9.8 \times 0.1 - \frac{800 \times 9.8 \times 0}{100} = 2352N \quad (6.33)$$

- Potência à barra de tração:

$$P_r = F_r \times V_t \times 1000/3600 \quad (6.34)$$

$$P_r = 2352 \times 2.22 \times 1000/3600 = 1451.9W \quad (6.35)$$

Para diferentes declives e diferentes massas para o veículo:

Tabela 6.7: Resultados obtidos para a massa do veículo de 800 kg, utilizando rodas com pneus de borracha

Massa do veículo: 800 kg		
Declive (%)	Força à barra de tração (N)	Potência à barra de tração (W)
0	2352	1451.9
10	1568	967.9
20	784	484.0
30	0	0.0
40	-784	-484.0

Tabela 6.8: Resultados obtidos para a massa do veículo de 1000 kg, utilizando rodas com pneus de borracha

Massa do veículo: 1000 kg		
Declive (%)	Força à barra de tração (N)	Potência à barra de tração (W)
0	2940	1814.8
10	1960	1209.9
20	980	604.9
30	0	0.0
40	-980	-604.9

Tabela 6.9: Resultados obtidos para a massa do veículo de 1200 kg, utilizando rodas com pneus de borracha

Massa do veículo: 1200 kg		
Declive (%)	Força à barra de tração (N)	Potência à barra de tração (W)
0	3528	2177.8
10	2352	1451.9
20	1176	725.9
30	0	0.0
40	-1176	-725.9

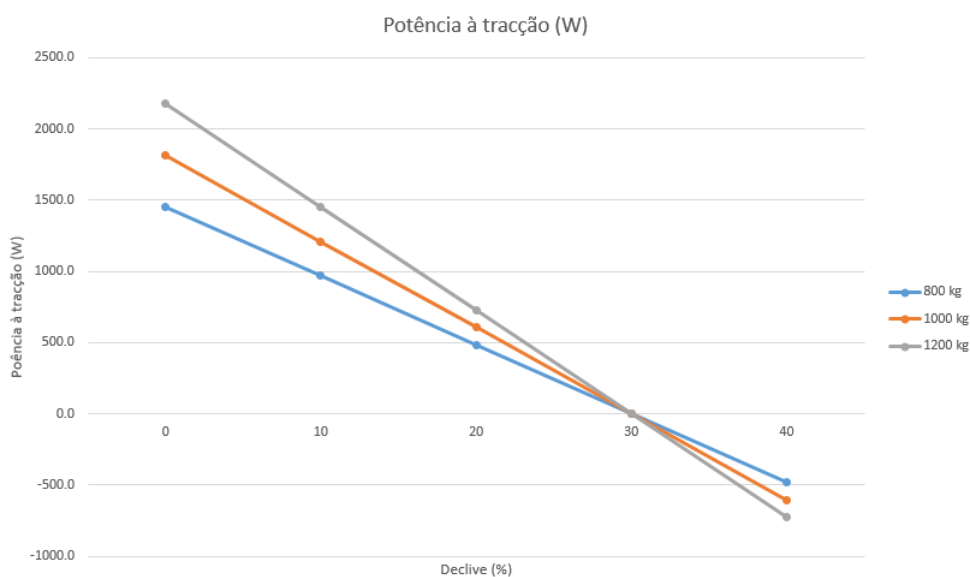


Figura 6.5: Potência à tração na utilização de rodas

Para os coeficientes considerados, verifica-se que a inclinação máxima em subida é de 30%, sendo que a partir desta o trator deixa de ter tração, independentemente da massa. Pelos dados obtidos nas visitas efetuadas a algumas quintas na região demarcada do douro, esta inclinação máxima não é suficiente para trabalhar naquela região.

6.5.2 Utilização de rastos

Para declive nulo e massa de 800 kg:

- Força à barra de tração:

$$F_r = 800 \times 9.8 \times 0.7 - 800 \times 9.8 \times 0.1 - \frac{800 \times 9.8 \times 0}{100} = 4704N \quad (6.36)$$

- Potência à barra de tração:

$$P_r = 4704 \times 2.22 \times 1000/3600 = 2903.7W \quad (6.37)$$

Para diferentes declives e diferentes massas para o veículo:

Tabela 6.10: Resultados obtidos para a massa do veículo de 800 kg, utilizando rastos

Massa do veículo: 800 kg		
Declive (%)	Força à barra tração (N)	Potência à barra de tração (W)
0	4704	2903.7
10	3920	2419.8
20	3136	1935.8
30	2352	1451.9
40	1568	967.9
50	784	484.0
60	0	0.0
70	-784	-484.0

Tabela 6.11: Resultados obtidos para a massa do veículo de 1000 kg, utilizando rastos

Massa do veículo: 1000 kg		
Declive (%)	Força à barra tração (N)	Potência à barra de tração (W)
0	5880	3629.6
10	4900	3024.7
20	3920	2419.8
30	2940	1814.8
40	1960	1209.9
50	980	604.9
60	0	0.0
70	-980	-604.9

Tabela 6.12: Resultados obtidos para a massa do veículo de 1200 kg, utilizando rastos

Massa do veículo: 1200 kg		
Declive (%)	Força à barra tração (N)	Potência à barra de tração (W)
0	7056	4355.6
10	5880	3629.6
20	4704	2903.7
30	3528	2177.8
40	2352	1451.9
50	1176	725.9
60	0	0.0
70	-1176	-725.9

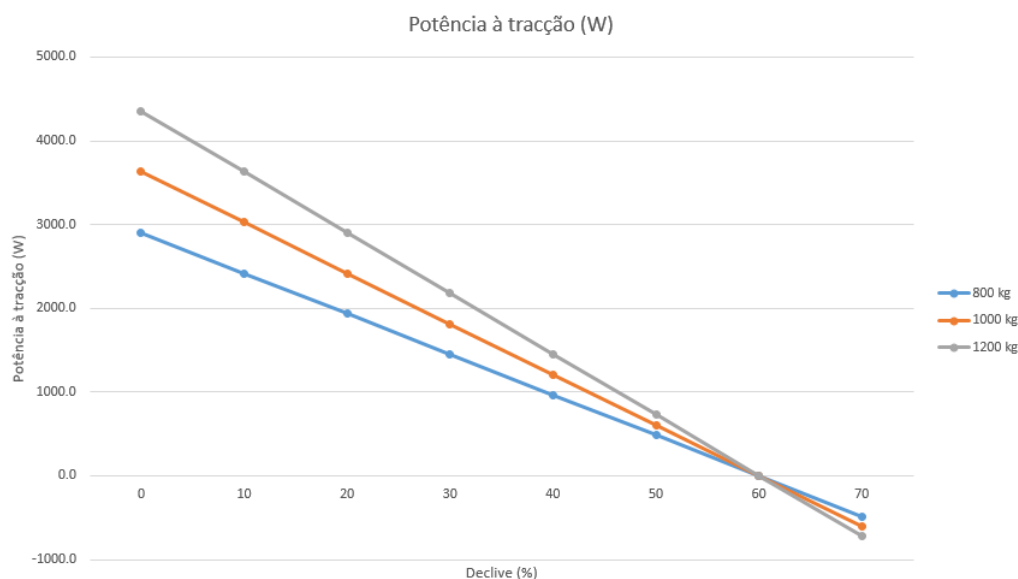


Figura 6.6: Potência à tração na utilização de rodas

Para os coeficientes considerados, verifica-se que a inclinação máxima em subida é de 60%, sendo que a partir desta o trator deixa de ter tração, independentemente da massa.

6.6 Determinação da capacidade da fonte energética

A determinação para a capacidade da fonte energética será feita apenas para a opção que utiliza rastos, visto que é a que apresenta melhores características em planos de declives elevados, que caracterizam a Região Demarcada do Douro.

6.6.1 1ª abordagem: Em regime máximo

Utilização de rastos

Os cálculos a apresentar de seguida têm o intuito de determinar a capacidade (kWh) e massa (kg) da fonte energética, para o veículo em regime máximo, tendo por base os valores anteriormente apresentados. A veículo em questão será elétrico, assim, é importante verificar a diferença na utilização de diferentes tipos de baterias e compará-las com a utilização do gasóleo, que é o combustível convencional utilizado nos tratores.

Para o caso de utilização de rastos: a potência máxima (P) é de: $P = 31789.5W$

Considerando apenas 1 hora de trabalho e no caso da utilização de rastos metálicos:

- Horas de trabalho (H): 1h
- Capacidade energética necessária: $E = P \times H \times 10^{-3} = 31.8kWh$ (Este valor não inclui a eficiência do motor e ou baterias)

Densidade energética dos combustíveis:

- Gasóleo: $43.1MJ/kg$

$$\text{Cálculo da massa da fonte energética (kg)} = \frac{\text{Capacidade energética necessária (kWh)} \times 10^3}{\text{Densidade energética (Wh/kg)}}$$

Considerou-se os seguintes valores de eficiência:

- Motor de combustão interna: 20%
- Motor elétrico: 90%
- Armazenamento da bateria elétrica: 86%

Resultados dos cálculos efetuados para 1h de trabalho e utilizando rastos metálicos (em regime máximo):

Tabela 6.13: Massa da fonte energética

Capacidade e massa da fonte energética					
	VRLA	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Gasóleo / Gasóleo agrícola
Densidade energética (Wh/kg)	40 [31]	50 [31]	70 [31]	120 [31]	11972.2
Densidade energética (MJ/kg)	0.144	0.18	0.252	0.432	43.1 (tabela 3.14)
Capacidade (kWh)	41.1	41.1	41.1	41.1	158.9
Massa da fonte energética (kg)	1026.8	821.4	586.7	342.3	13.3 (16.0 litros)

Nesta abordagem, é evidente a diferença entre capacidades necessárias para as baterias e para o caso do gasóleo, cerca de 4 vezes superior na utilização do gasóleo comparativamente às baterias.

6.6.2 2ª abordagem: Análise sobre dados experimentais

Nesta nova abordagem faz-se utilização de dados experimentais apresentados no anexo C da análise de um protótipo preliminar. Esta análise tem dados importantes sobre algumas especificações do MultiJyp utilizado e do consumo do veículo para desempenhar algumas funções.

Utilização de rastos

Em comparação com o veículo protótipo adaptado a trabalhar em vinhas da marca Chappot: [27]

Tabela 6.14: Protótipo Chappot - Características do equipamento [27]

EQUIPAMENTO BASE	
Motorização	Diesel 2 cilindros Arrefecimento a água Potência 24 cv Injeção indireta
Transmissão	Totalmente hidrostática
Comandos	Alavanca com funções avanço/recuo e esquerda/direita Sistema de comando proporcional progressivo Posto de condução reversível
Peso / Dimensões	560 kg; 1.87 m × 0.65 m
Locomoção	Rastos de borracha com roletes de apoio Velocidade máxima de 4.5 km/h (avanço/recuo)

Tabela 6.15: Tempos de trabalho e consumo [27]

Operação	Tempo manobras		Tempo de trabalho				Velocidade km/h	Consumo Gasóleo	
	Total %	Média seg	Total h/ha	Cec ha/h	Ctc ha/h	Ec %		l/h	l/ha
Cavadeira	5.4	21.5	6.8	0.15	0.17	86	1.14	1.82	18.52
Pulverização	22.7	41.0	1.9	0.54	0.59	91	3.96	2.69	5.47
Desponta	2.5	36.1	22.5	0.04	0.18	24	1.20	1.23	27.8
Transporte de vindima	-	20.3	-	-	-	-	4.92	1.32	-

Cec → Capacidade efetiva de campo

Ctc → Capacidade teórica de campo:

$$Ctc = V \times L / 10 [Ha/h] \quad (6.38)$$

V → Velocidade de avanço (km/h)

L → Largura de trabalho (L)

A razão das duas capacidades, dá-nos a eficiência de campo (Ec), que traduz a redução de área trabalhada, resultante das perdas de tempo no trabalho não produtivo (tempos de viragem, abastecimento):

$$E_c = \frac{C_{ec}}{C_{tc}} \times 100 \quad (6.39)$$

Com o objetivo de determinar a média de consumos do veículo de 24cv (MultiJyp), obtêm-se da tabela 6.15 os valores de tempo de trabalho total (h/ha) e do consumo de gasóleo (l/h), para as operações de cavadeira, pulverização e desponta.

Analisando a tabela que contém a consumo de gasóleo (l/h) do protótipo de 24 cv:

- Somatório do tempo de trabalho:

$$6.8 + 1.9 + 22.5 = 31.2h/ha \quad (6.40)$$

- Média de consumos:

$$1.82 \times \frac{6.8}{31.2} + 2.69 \times \frac{1.9}{31.2} + 1.23 \times \frac{22.5}{31.2} = 1.45l/h \quad (6.41)$$

De seguida usa-se o valor da potência máxima para o caso da utilização de rastos, para se calcular a razão de potências entre esta e a potência do protótipo preliminar MultiJyp. Esta razão será utilizada para estimar o consumo de combustível de um motor Diesel com a potência calculada. Para tal considera-se um motor da mesma natureza do MultiJyp testado, com um motor de combustão interna atmosférico Diesel.

Para o caso da utilização de rastos a potência máxima determinada é de: $31789.5W = 43.22cv$

Relação entre a potência do protótipo e da potência necessária para o veículo para o caso da utilização de rastos:

$$R = \frac{24}{43.22} = 0.555 \quad (6.42)$$

Determinação do consumo tendo por base a razão entre as potências:

$$\text{Consumo} = \frac{1.45}{0.555} = 2.61l/h (20.9L \text{ em } 8 \text{ horas}) \quad (6.43)$$

Massa de gasóleo: $20.9 \times 832/10^3 = 17.4kg$

Capacidade necessária (utilizando gasóleo): $11972.2/10^3 \times 17.4 = 208.1kWh$

Capacidade energética (retirando o valor da eficiência do motor diesel (20%)): $208.1 \times 20/100 = 41.6kWh$

Dados:

- Horas de trabalho (H): 8h
- Potência máxima total: $P = 31789.5W (43.22cv)$
- Capacidade energética: 41.6 kWh (Este valor não inclui a eficiência do motor e ou baterias)

Densidade energética dos combustíveis:

- Gasóleo: $43.1MJ/kg$

Considerou-se os seguintes valores de eficiência:

- Motor de combustão interna: 20%
- Motor elétrico: 90%
- Armazenamento da bateria elétrica: 86%

Preço das fontes energéticas:

- Gasóleo: 1.40 €/litro
- Gasóleo agrícola: 0.989 €/litro

- Energia elétrica: 0.1543€/kWh

Tabela 6.16: Massa e capacidade da fonte energética

	Capacidade e massa da fonte energética					
	VRLA	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Gasóleo	Gasóleo agrícola
Densidade energética (Wh/kg)	40 [31]	50 [31]	70 [31]	120 [31]	11972.2	11972.2
Densidade energética (MJ/kg)	0.144	0.18	0.252	0.432	43.1 (tabela 3.14)	43.1 (tabela 3.14)
Capacidade (kWh)	53.8	53.8	53.8	53.8	208.1	208.1
Massa da fonte energética (kg)	1344.2	1075.4	768.1	448.1	17.4 (20.9 litros)	17.4 (20.9 litros)
Custo com o combustível (€)	8.30	8.30	8.30	8.30	29.25	20.66

Para uma média de utilização da máquina de 500h de trabalho por ano:

Tabela 6.17: Custo com a fonte energética para 500h de trabalho

	VRLA	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Gasóleo	Gasóleo agrícola
Custo com o combustível (€)	518.5	518.5	518.5	518.5	1827.9	1291.3

Segundo o Engenheiro José Eduardo Costa, a utilização anual do veículo MultiJyp é de 500h na Quinta do Noval, desta forma utilizou-se as 500h de trabalho como elemento de comparação entre os diferentes combustíveis, sendo assim possível ter uma ideia de poupança anual com uma fonte energética alternativa. Poupança anual utilizando energia elétrica como fonte energética para a motorização:

- 1309.4€ utilizando energia elétrica na alternativa ao gasóleo
(1827.9 – 518.5 = 1309.4) - poupança de 71,6%;
- 773.8€ utilizando energia elétrica na alternativa ao gasóleo agrícola
(1291.3 – 518.5 = 773.8) - poupança de 59.8%.

Capítulo 7

Geração do conceito

Neste capítulo de geração de conceitos, é importante referir que um veículo para estar a trabalhar na agricultura necessita de um conjunto de elementos essenciais para cumprir as suas funções.

Elementos essenciais num veículo agrícola:

- Tomada de força - Para transmitir movimento necessário para algumas alfaias
- Tomada hidráulica - Conjunto de tomadas hidráulicas necessárias para alimentar hidraulicamente algumas alfaias
- Sistema tripolar de engate - Engate necessário para apoio e fixação de algumas alfaias, possui também um sistema hidráulico de elevação das alfaias.

Aspectos já definidos no veículo, devido às análises feitas nos capítulos anteriores:

- Motorização: Motor elétrico
- Fonte energética: Baterias - energia elétrica
- Movimentação: Lagartas metálicas

Segue-se então os passos necessários para a geração do conceito para um veículo adaptado para trabalhar nas vinhas do douro, *Five-Step Method* [38].

7.1 Five-Step Method

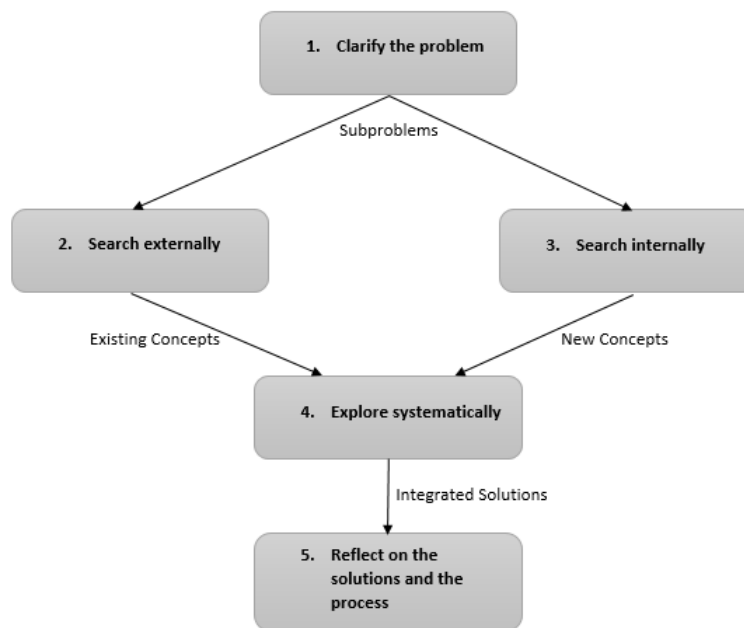


Figura 7.1: Five-Step Method [38]

O método dos 5 passos começa por fazer uma clarificação do problema proposto, seguido de uma procura externa de soluções ou conceitos já existentes, e enumeração de um conjunto de possíveis soluções para colmatar os subproblemas.

Numa fase posterior explora-se as diferentes combinações de soluções e por último reflete-se nas soluções e nos processos.

7.2 Clarify the problem

Nesta secção pretende-se fazer uma clarificação do problema principal. Como referido anteriormente, o veículo será elétrico com baterias, pontualmente terá de ter uma alimentação elétrica exterior para alimentar as baterias, que é um dos inputs do sistema. Outra entrada do sistema será a actuação na interface por parte do manobrador do veículo, para as diferentes funções necessárias ao veículo.

Como output deste sistema teremos a movimentação do veículo (provocado pelas rodas motrizes), o funcionamento da tomada de força, a alimentação das tomadas hidráulicas e a elevação do hidráulico do sistema tripolar de engate.

A figura 7.2 apresenta um esquema do problema de forma simplificada, considerando o veículo como uma "black-box" e onde se dá mais importância *inputs* e *outputs* do sistema.

Problema principal:

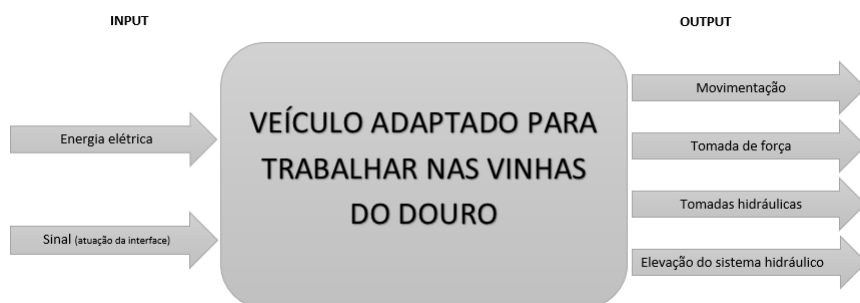


Figura 7.2: Clarificação do problema

A figura 7.3 apresenta uma de composição do problema principal em sub-problemas, de forma a se analisar individualmente cada uma das funções internas do veículo, com o objetivo a se identificar a melhor solução para o problema.

Decompondo o problema principal em sub-problemas:



Figura 7.3: Refinamento do problema

O veículo, devido à grande extensão dos terrenos das vinhas, necessita de baterias para acumular a energia elétrica permitindo que este se desloque sem que o veículo esteja sempre ligado a uma fonte energética fixa (tomada elétrica). Da mesma forma, este veículo precisa também de comandos para receber os sinais impostos pelo utilizador da máquina.

Será necessário que este veículo converta a energia elétrica vinda das baterias (acumulador) em energia mecânica para a movimentação do veículo, para a tomada de força e também para acionamento das bombas hidráulicas. Será também necessário que faça

a conversão da energia mecânica em energia hidráulica (bomba hidráulica), para se obter a pressão e caudal de fluido necessários para o trabalho com algumas alfaías (tomadas hidráulicas e elevação do hidráulico do sistema tripolar de engate).

7.3 Search externally

Nesta fase de procura externa serão analisados dois veículos, o MultiJyp que é um veículo adaptado para trabalhar em vinhas estreitas, e, um trator vinhateiro da New Holland, que é um trator convencional.

O objetivo desta fase é verificar as soluções existentes no mercado, tanto a nível de veículos adaptados como em veículos convencionais e constatar as suas limitações a trabalhar nas vinhas estreitas e inclinadas.

Conceitos existentes no mercado:

- MultiJyp, veículo da marca Chappot - Veículo adaptado
- New Holland (trator vinhateiro) - Veículo convencional

7.3.1 MultiJyp

O MultiJyp serve como referência de um veículo adaptado para trabalhar em vinhas estreitas.

Algumas características deste veículo encontram-se no anexo C.

Este veículo é utilizado em algumas Quintas da Região Demarcada do Douro.

MultiJyp:(Veículo presente no CEVD) [36]

- Marca: Chappot
- Modelo: MultiJyp
- Combustível: Diesel
- Cilindrada:1551cc
- Potência nominal (a 3000rpm): 22.2kW (30.2cv)
- Massa, sem pesos: 760kg
- Comprimento: 2.1m
- Largura: 800mm
- Largura do rasto: 200mm

Notas:

- Veículo com problemas de estabilidade
- Veículo com problemas de sobreaquecimento
- Com a largura apresentada este veículo consegue trabalhar bem nas vinhas estreitas

MultiJyp 2: (Veículo utilizado na Quinta do Noval)

- Marca: Chappot
- Modelo: MultiJyp 2
- Combustível: Diesel
- Potência nominal: 45cv
- Comprimento total da base: 2.10m
- Altura das lagartas: 350mm
- Largura total: 910mm
- Largura lagartas: 230mm

Nota:

- Este veículo apresenta-se mais estável
- Este veículo já não apresenta problemas de sobreaquecimento
- Devido à baixa massa, este veículo não apresenta potência à barra de tração suficiente para desempenhar algumas funções de mobilização da solo.

7.3.2 New Holland (trator vinhateiro)

Trator convencional vinhateiro, características gerais:

- Marca: New Holland
- Modelo: TK4020V
- Combustível: Diesel
- Cilindrada: 3200cc
- Admissão: Turboalimentado
- Potência nominal do motor ISO 14396 - ECE R120 (a 2300 rpm): 48 kW (65cv)
- Binário máximo a 1300 rpm: 290 Nm
- Transmissão: Mecânica (Steering-O-Matic Plus)
- Massa em ordem de marcha: 3270kg
- Largura máxima com sapatas: 1150mm
- Comprimento máximo: 3173mm

As especificações deste veículo encontram-se no anexo D.

7.4 *Search internally*

Nesta fase de conceito são consideradas algumas hipóteses de solução para os sub-problemas identificados anteriormente.

Para o sub-problema da conversão da energia elétrica em energia mecânica para a bomba hidráulica, já que o veículo será elétrico, a conversão será feita pelo motor elétrico que accionará a(s) bomba(s) hidráulica(s) que fornecerão energia hidráulica para as tomadas hidráulicas e para a elevação dos sistema tripolar de engate das al-faixas, estando assim definidas as soluções destes *outputs* do sistema. Não se considera o tipo de comando a utilizar como um sub-problema crítico, e para além disso o tipo de solução a implementar, neste tópico, dependerá da solução encontrada para os outros sub-problemas.

Assim, considera-se como sub-problemas críticos:

- Acumulador de energia elétrica
- Conversão da energia elétrica em energia mecânica para a movimentação do veículo
- Conversão da energia elétrica em energia mecânica para a tomada de força

7.4.1 **Acumulador de energia elétrica**

Como referido anteriormente, devido às grandes extensões das quintas onde utilizam este tipo de veículo, é necessário que o veículo possua acumuladores (baterias) de energia elétrica, que lhe permita ter autonomia suficiente para desempenhar as tarefas previstas.

- Baterias de chumbo
- Baterias de níquel
- Baterias de lítio

Apenas se analisarão o caso das baterias de chumbo e de lítio, já que as baterias de níquel apresentam características intermédias entre os dois tipos de baterias referidos.

De seguida são apresentados alguns exemplos e características deste tipo de baterias.

Exemplo de uma bateria de chumbo:

Dados de uma bateria de chumbo (figura 7.4):

- Marca: Autosil
- Tensão: 12V
- Capacidade por célula: 100Ah
- Massa de cada bateria: 22.36 kg
- Comprimento: 346 mm

- Largura: 172 mm
- Altura: 232 mm
- Preço: 140.55€



Figura 7.4: Bateria Autosil 12V 100Ah

Exemplo de uma bateria de lítio (figura 7.5) [1]:

- Marca: GEB
- Modelo: GEB10059156
- Tensão: 3.7V
- Capacidade por célula: 11Ah
- Massa por célula: 201.5g
- Comprimento: 59 mm
- Largura: 10 mm
- Altura: 158 mm
- Preço: \$17.5 = 12.57€[taxa de câmbio (19 Março 2014): 1\$ = 0.71833€]



Figura 7.5: Célula de bateria: GEB 3.7V 11Ah [1]

7.4.2 Conversão em energia mecânica para a movimentação do veículo

É necessário que exista a conversão da energia elétrica das baterias em energia mecânica, que permita a rotação das rodas motrizes e consequente movimentação do veículo.

Consideram-se as seguintes soluções para a conversão da energia elétrica em energia mecânica, para a movimentação do veículo:

- Utilização de um motor elétrico e uma transmissão mecânica (diferencial mecânico) - Esta solução, tendo apenas um motor elétrico e existindo duas rodas motrizes, obriga à utilização de um diferencial mecânico para permitir a transmissão do movimento para as duas rodas motrizes dos rastos. Com o diferencial mecânico é possível aplicar um travão para cada um dos rastos permitindo a imobilização e mudança de direção do veículo.
- Utilização de um motor elétrico e uma transmissão hidrostática - Esta solução difere da anterior no tipo de transmissão, utiliza uma bomba hidráulica (acionada pelo motor elétrico) e dois motores hidráulicos para transmitir movimento às duas rodas motrizes. Com a transmissão hidrostática seria possível aplicar um conjunto de válvulas que permitiriam controlar a mudança de direção e a imobilização do veículo.
- Utilização de dois motores elétricos - Esta solução utilizaria um motor elétrico em cada roda motriz, seria necessário um diferencial eletrónico de forma a controlar a velocidade e a mudança de direção do veículo.

De seguida são apresentados alguns exemplos de motores elétricos e de um motor hidráulico.

Exemplo de motor elétrico (figura 7.6) [12]:

Dados:

- Marca: HPEVS
- Modelo: AC-15
- Potência máxima: 44.58 kW (a 96V/650A)
- Binário máximo: 94.6 N.m (a 96V/650A)
- Massa: 22.7 kg
- Preço: \$1250 = 897.91€[taxa de câmbio (19 Março 2014): 1\$ = 0.71833€]



Figura 7.6: Motor HPEVS AC-15 [12]

Exemplo de motor elétrico indicado para colocar em rodas (figura 7.7) [5]:

- Marca: EMRAX
- Modelo: 207
- Massa: 9.1 kg
- Potência máxima: 70 kW (a 140V)
- Potência em contínuo: 20-30 kW
- Binário máximo: 160 N.m (a 140V)
- Binário em contínuo: 80 N.m
- Preço: 3000€



Figura 7.7: Motor EMRAX 207 [5]

Exemplo de motor hidráulico (figura 7.8) [18]:

- Marca: Bosch Rexroth
- Modelo: A2FM (size5)
- Massa: 2.5kg
- Pressão: 315 bar ($3.15 \times 10^7 \text{ N/m}^2$)
- Caudal: 49 l/min ($0.00082 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Potência: 25725 W
- Preço: 1651.37€



Figura 7.8: Motor Bosch Rexroth A2FM [18]

7.4.3 Conversão em energia mecânica para a tomada de força

É necessário uma conversão da energia elétrica em energia mecânica para a tomada de força (*PTO - Power take off*).

- Tomada de força através de transmissão mecânica - Neste caso seria aproveitado o movimento do motor elétrico através de uma transmissão mecânica para a tomada de força.
- Tomada de força através de transmissão hidrostática - Neste caso seria aproveitado a potência hidráulica do veículo e a tomada de força funcionaria com um motor hidráulico.

7.5 *Explore systematically*

Nesta secção pretende-se apresentar sobre a forma de sistema as soluções apresentadas na secção de *Search internally* e compará-las com as alternativas existentes no mercado, presentes na secção *Search externally*.

Os seguintes esquemas resumem os sub-problemas críticos encontrados e as suas respectivas alternativas de solução.

Para acumulador de energia elétrica para o veículo existem três opções disponíveis: baterias de chumbo, baterias de níquel ou baterias de lítio. Os veículos analisados, existentes no mercado, como utilizam motor de combustão interna possuem uma fonte

energética diferente para a motorização. Estes apenas possuem uma bateria de chumbo para alimentar o motor de arranque e para funcionamento de alguns componentes elétricos ou eletrônicos.

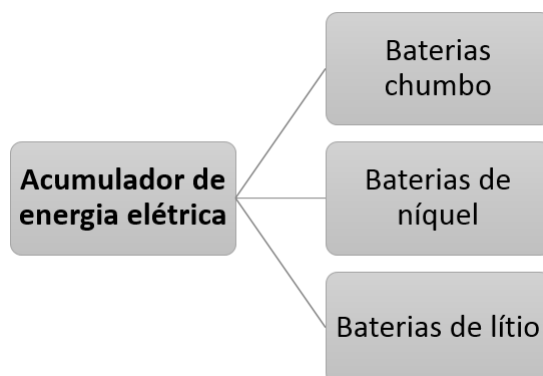


Figura 7.9: Acumulador de energia elétrica

Quanto à conversão da energia da fonte energética em energia mecânica para a movimentação das rodas, os dois veículos analisados na secção de *Search externally*, apesar de ambos utilizarem rastros, têm transmissões diferentes para as rodas motrizes. O veículo da New Holland possui uma transmissão mecânica enquanto que o MultiJyp possui uma transmissão hidrostática.

Existem estas duas hipóteses para o conceito do veículo elétrico, acrescenta-se também a possibilidade de estarem dois motores elétricos (1 para cada roda motriz), e como referido anteriormente há a necessidade de um diferencial eletrônico para este caso.

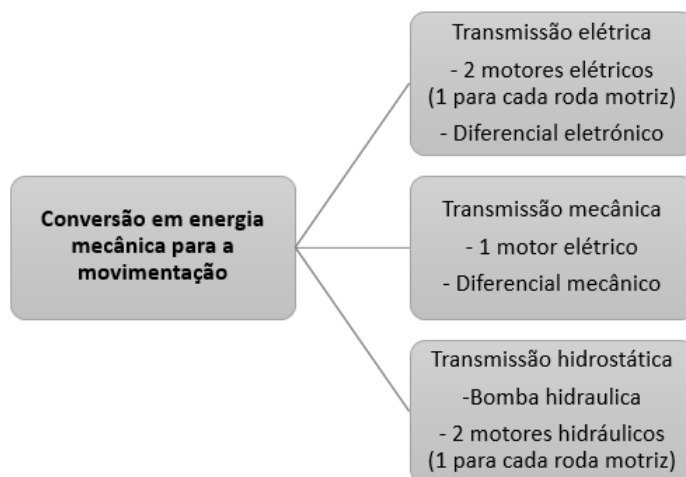


Figura 7.10: Conversão em energia mecânica para a movimentação

Para a tomada de força existem duas hipóteses, ambas aproveitam o movimento do motor elétrico em que uma delas, através de uma transmissão mecânica, gera movimento para a tomada de força, a outra funciona através de uma transmissão hidrostática.

Os veículos analisados anteriormente aproveitam o movimento de rotação do motor de combustão interna e através de uma transmissão mecânica, transmite movimento à tomada de força.

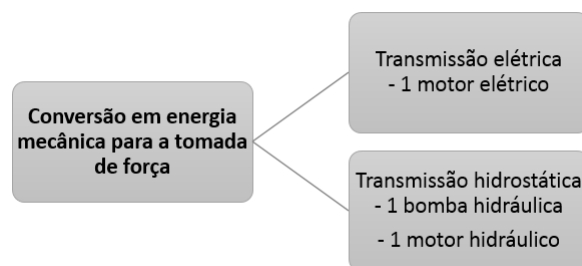


Figura 7.11: Conversão em energia mecânica para a tomada de força

7.6 *Reflect on the solutions and the process*

Nesta secção pretende-se refletir nas soluções propostas e tentar identificar a melhor. A análise das possíveis soluções terão por base a comparação de:

- Rendimento
- Atravancamento do sistema
- Massa
- Preço
- Fiabilidade, ergonomia e segurança

7.6.1 Rendimento

A vertente elétrica apresenta um melhor rendimento do que a componente hidráulica, pois a implementação da solução hidráulica obriga à utilização de um motor elétrico para o acionamento da bomba hidráulica, que irá alimentar o sistema hidráulico. Assim, teremos duas perdas no sistema, pela parte elétrica teremos uma perda de energia de cerca de 10% (rendimento de cerca 90%) e da parte hidráulica na melhor das hipóteses de 10% (rendimento na melhor das hipóteses de 90%), obtendo um rendimento global do sistema inferior comparativamente à implementação restrita da solução elétrica.

Como a rotação das rodas motrizes é muito baixa (cerca de 30 RPM para uma velocidade de 2km/h e diâmetro da roda motriz de 350mm) e a da tomada de força também é baixa (540 RPM), provavelmente, independentemente da solução a implementar, ser elétrica ou hidráulica, a solução terá de incorporar um redutor para a diminuição da rotação do motor e consequente aumento do binário, de forma a obter o melhor rendimento possível.

Quanto mais complexa for a solução mais implicações terá no rendimento global do sistema. Assim, pretende-se arranjar a solução mais simples e que cumpra os requisitos de funcionamento.

7.6.2 Atravancamento do sistema

O veículo necessita de ter umas dimensões reduzidas, estreito para passar entre os bardos de vinhas e curto para possibilitar a inversão de marcha em pequenas áreas, é necessário ter em atenção o atravancamento da solução a explorar.

As baterias de chumbo ocupam mais espaço do que as baterias de lítio e são bastante mais pesadas, para a mesma capacidade.

A solução elétrica para a movimentação e para a tomada de força obrigaria à utilização de redutores nos motores para se obter a velocidade necessária, sem grandes perdas de rendimento.

Quanto mais complexa for a solução mais implicações terá no atravancamento global do sistema. Assim, pretende-se arranjar a solução mais simples e que cumpra os requisitos de funcionamento.

Dimensões da bateria de lítio (GEB - GEB10059156 3.7V 11Ah):

- Comprimento: 59 mm
- Largura: 10 mm
- Altura: 158 mm

Dimensões da bateria de chumbo (Autosil - STC 12V 100Ah):

- Comprimento: 346 mm
- Largura: 172 mm
- Altura: 232 mm

Comparação entre o volume das baterias, volume por capacidade:

- Para a bateria de lítio: $\frac{0.059 \times 0.010 \times 0.158}{3.7 \times 11} = 2.29 \times 10^{-6} m^3 / Wh$
- Para a bateria de chumbo: $\frac{0.346 \times 0.172 \times 0.232}{12 \times 100} = 11.5 \times 10^{-6} m^3 / Wh$

$$\frac{11.5 \times 10^{-6}}{2.29 \times 10^{-6}} \simeq 5 \quad (7.1)$$

As baterias de chumbo são aproximadamente 5 vezes mais volumosas do que as baterias de lítio, para a mesma capacidade.

Dimensões do motor elétrico HPEVS AC-15:

- Diâmetro: 181.15mm
- Comprimento: 279.11mm

Dimensões do motor elétrico EMRAX 207:

- Diâmetro: 207mm
- Comprimento: 85mm

Dimensões do motor hidráulico Bosch Rexroth A2FM:

- Comprimento: 70mm

- Largura: 70mm
- Profundidade: 131mm

Comparação entre o volume dos motores, volume por potência:

- Para o motor elétrico HPEVS AC-15: $\frac{\pi \times 181.15^2 / 4 \times 279.11}{44.58 \times 10^3} \simeq 161.36 \text{ mm}^3 / \text{W}$
- Para o motor elétrico EMRAX 207: $\frac{\pi \times 207^2 / 4 \times 85}{70 \times 10^3} \simeq 40.87 \text{ mm}^3 / \text{W}$
- Para o motor hidráulico Bosch Rexroth A2FM: $\frac{70 \times 70 \times 131}{25.725 \times 10^3} \simeq 24.95 \text{ mm}^3 / \text{W}$

Como referido, o atravancamento é um ponto crítico para o projecto desta máquina sendo que o motor hidráulico apresenta um menor volume por quantidade de potência, face aos motores elétricos. A melhor solução, a nível de atravancamento, será a opção hidráulica para a motorização.

7.6.3 Massa

O baixo centro de massa é um factor muito importante para este conceito, já que este veículo será estreito para poder trabalhar nos patamares estreitos da Região Demarcada do Douro, para permitir uma boa estabilidade e segurança a manobrar a máquina. Devido à utilização de alfaías altas, como o caso da pré-podadora, que elevam e descentram o centro de massa do veículo, podem provocar instabilidade na máquina.

Elementos de maior importância para avaliar a massa:

- Massa da bateria de lítio (GEB 3.7V 11Ah): 0.2015 kg
- Massa da bateria de chumbo (Autosil 12V 100 Ah): 22.36 kg
- Massa do motor elétrico - HPEVS AC-15: 22.7 kg
- Massa do motor elétrico - EMRAX207: 9.7kg
- Massa do motor hidráulico - Bosch Rexroth A2FM: 2.5 kg

Comparação entre a massa das baterias, massa por capacidade:

- Para a bateria de lítio: $\frac{0.2015}{3.7 \times 11} = 0.004951 \text{ kg/Wh}$
- Para a bateria de chumbo: $\frac{22.36}{12 \times 100} = 0.018633 \text{ kg/Wh}$

$$0.018633 / 0.004951 \simeq 3.76 \quad (7.2)$$

As baterias de chumbo são aproximadamente 3.76 vezes mais pesadas do que as baterias de lítio, para a mesma capacidade.

Comparação entre a massa dos motores, massa por potência:

- Para o motor elétrico HPEVS AC-15: $\frac{22.7}{44.58 \times 10^3} \simeq 5.09 \times 10^{-4} \text{ kg/W}$
- Para o motor elétrico EMRAX 207: $\frac{9.7}{70 \times 10^3} \simeq 1.39 \times 10^{-4} \text{ kg/W}$
- Para o motor hidráulico Bosch Rexroth A2FM: $\frac{2.5}{25.725 \times 10^3} \simeq 0.97 \times 10^{-4} \text{ kg/W}$

É importante que o veículo tenha um baixo centro de massa, as baterias e a sua localização serão determinantes para a estabilidade do veículo. Apesar da estabilidade do veículo ser dada pela quantidade de baterias necessárias para alimentar o veículo elétrico, quanto mais pesadas forem as baterias maior será a massa total do veículo, o que terá implicações na energia consumida pelo veículo no seu funcionamento.

A massa do motor a escolher para a motorização é um aspecto importante a considerar. A massa por quantidade de potência do motor hidráulico é bastante inferior à dos motores elétricos analisados, assim considera-se que do ponto de vista da massa a opção hidráulica é a melhor.

7.6.4 Preço

Sendo este veículo um produto cujo objectivo será a sua comercialização no mercado, é necessário avaliar o preço dos componentes essenciais e compará-los entre si, com o intuito de se obter a melhor solução.

Elementos de maior importância para avaliar o preço:

- Preço da bateria de lítio (GEB 3.7V 11Ah): 12.57€
- Preço da bateria de chumbo (Autosil 12V 100 Ah): 140.55€
- Preço do motor elétrico - HPEVS AC-15: 897.91€
- Preço do motor elétrico - EMRAX207: 3000€
- Preço do motor hidráulico - Bosch Rexroth A2FM: 1651.37€

Comparação entre o preço das baterias, preço por capacidade:

- Para a bateria de lítio: $\frac{12.57}{3.7 \times 11} = 0.308845 \text{ €/Wh}$
- Para a bateria de chumbo: $\frac{140.55}{12 \times 100} = 0.117125 \text{ €/Wh}$

$$0.308845 / 0.117125 \simeq 2.64 \quad (7.3)$$

As baterias de lítio ficam aproximadamente 2,64 vezes mais caras do que as baterias de chumbo, para a mesma capacidade.

Comparação entre o preço dos motores, preço por potência:

- Para o motor elétrico HPEVS AC-15: $\frac{897.91}{44.58 \times 10^3} \simeq 0.0201 \text{ €/W}$
- Para o motor elétrico EMRAX 207: $\frac{3000}{70 \times 10^3} \simeq 0.043 \text{ €/W}$
- Para o motor hidráulico Bosch Rexroth A2FM: $\frac{1651.37}{25.725 \times 10^3} \simeq 0.064 \text{ €/W}$

7.6.5 Fiabilidade, ergonomia e segurança

A utilização de baterias de lítio obriga à implementação de um sistema de refrigeração dos seus núcleos e um controlo rigoroso da temperatura, já que a temperatura deve andar entre:

- Durante o carregamento: 0 e 45°C
- Durante o descarregamento (em trabalho): -20 e 60°C

Sendo a Região Demarcada do Douro uma região bastante quente, durante o trabalho o veículo estará sujeito a uma grande exposição solar e por efeitos radiativos as baterias, sem um sistema de refrigeração adequado, tornariam-se perigosas. As baterias de lítio se passarem as temperaturas recomendadas poderão autoinflamar-se.

Ainda dentro do tópico da utilização das baterias de lítio, será necessário um controlo do carregamento das baterias (BMS - Battery Management System), tanto pela temperatura como pela tensão e corrente durante a fase de carregamento.

Segundo o catálogo da GEB:

- Tensão máxima de carregamento: 4.2V
- Corrente máxima de carregamento: 11000mA

O tempo de carregamento destas baterias será inferior a 2.5 horas, valor referido para cada núcleo.

A nível de ergonómico será essencial o manobrador ter algum conforto durante o trabalho com a máquina, dado que haverá alturas em que o veículo trabalhará 8h por dia, será necessário o manobrador ir sentado e confortável. Assento este que terá de ter algum tipo de amortecimento, para amortecer as irregularidades do terreno.

A nível de segurança será necessário o veículo possuir uma Roll Bar, como é normal nos tratores agrícolas. Quanto à tomada de força é necessário que seja cumprido o critério ISO 500 que garante a normalização em termos de dimensões, velocidade de rotação e segurança da tomada de força.

7.7 Proposta de conceito

Tendo por base as análises feitas anteriormente considera-se que o veículo será elétrico, ou seja que terá uma fonte de alimentação elétrica.

A movimentação deste será feita por motores hidráulicos, por motivos de avançamento, massa e simplicidade da solução. Quanto às baterias para o veículo considera-se melhor a opção pelas baterias de lítio que têm uma massa e um volume bastante inferiores às baterias de chumbo.

Dimensões gerais propostas para o conceito:

- Largura total: 900 mm

- Largura de cada rasto: 200 mm
- Largura do centro: 500 mm (440 mm no interior)
- Comprimento: 2000 mm
- Altura dos rastos: 350 mm
- Altura da base ao solo: 125 mm
- Altura total (com rollbar): 2000 mm

Principais componentes do conceito:

- 900 baterias de lítio (36.6kWh, 181.35kg, 11313€)
 - Marca: GEB
 - Modelo: GEB10059156
 - Tensão: 3.7V
 - Capacidade por célula: 11Ah
 - Massa por célula: 201.5g
 - Comprimento: 59 mm
 - Largura: 10 mm
 - Altura: 158 mm
 - Preço: \$17.5 = 12.57€[taxa de câmbio (19 Março 2014): 1\$ = 0.71833€]
- Motor elétrico que transmite movimento mecânico para a bomba hidráulica
- Roll bar

Devido ao limitado espaço da base central do veículo, não é possível colocar a capacidade necessária de baterias para alimentar o veículo, para 8 horas de trabalho (51.4kWh). Identificaram-se três hipóteses para contornar esta limitação:

- Sistema de substituição do conjunto de baterias por outro conjunto com a mesma capacidade;
- Incluir um novo patamar de baterias sobre as que estão representadas até atingir a capacidade necessária de baterias;
- Utilizar um extensor de autonomia, com um motor de combustão interna, para aumentar a autonomia do veículo.

O sistema de substituição do conjunto de baterias por outro conjunto com a mesma capacidade, traria vantagens por manter a massa e o centro de massa baixos, mas teria o inconveniente no aumento do preço final.

A utilização de outro patamar de células de bateria aumentaria a autonomia do veículo, mas tem o inconveniente de elevar o centro de massa do veículo e aumentar permanentemente a massa deste.

A utilização de um extensor de autonomia, utilizando um motor de combustão interna, tem a vantagem de permitir que o veículo nunca fique imobilizado no meio do serviço por falta de energia elétrica e que se possa ligar ao veículo quando necessário.

A modelação 3D da proposta de conceito (presente nas figuras 7.12, 7.13 e 7.14), feita no software *SolidWorks*, apresenta um esboço de uma pessoa com 1,8m de altura para uma melhor percepção do tamanho do veículo, em comparação com o tamanho do esboço do veículo. Nesta proposta, é então apresentado um esboço do conceito do veículo onde se representa a proposta da posição do condutor, assento, roll bar, baterias e motores.

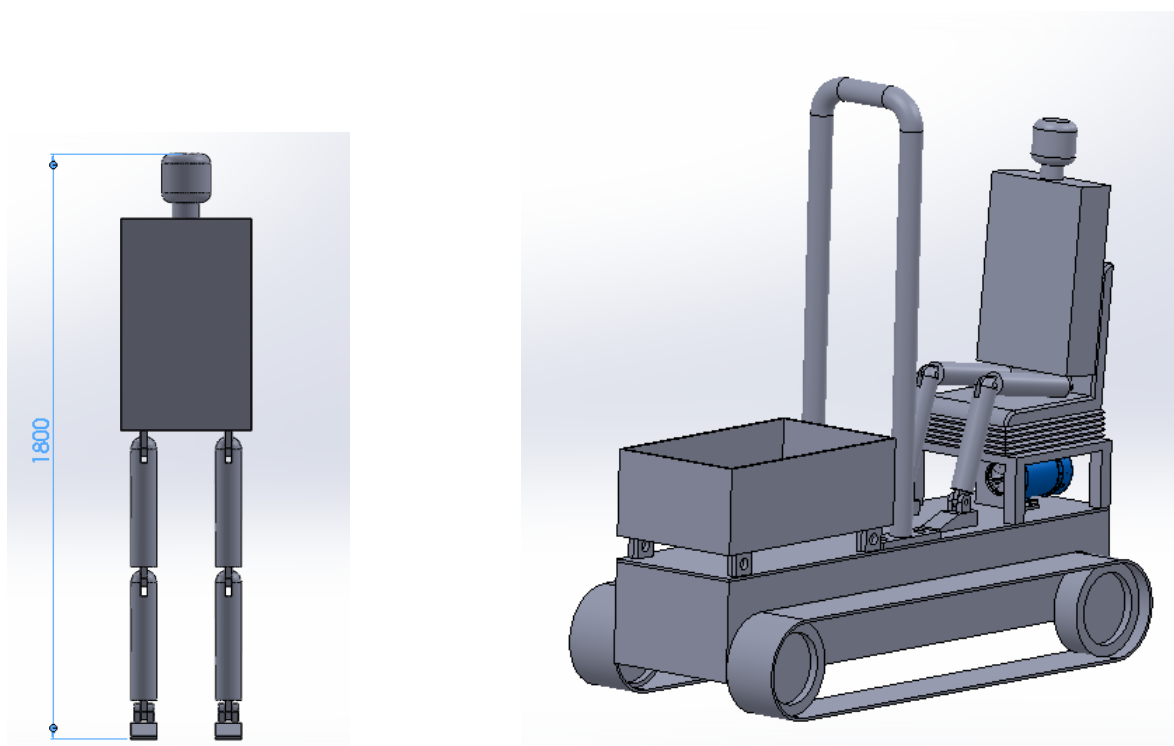


Figura 7.12: Esboço de uma pessoa com 1.8m de altura e proposta do conceito

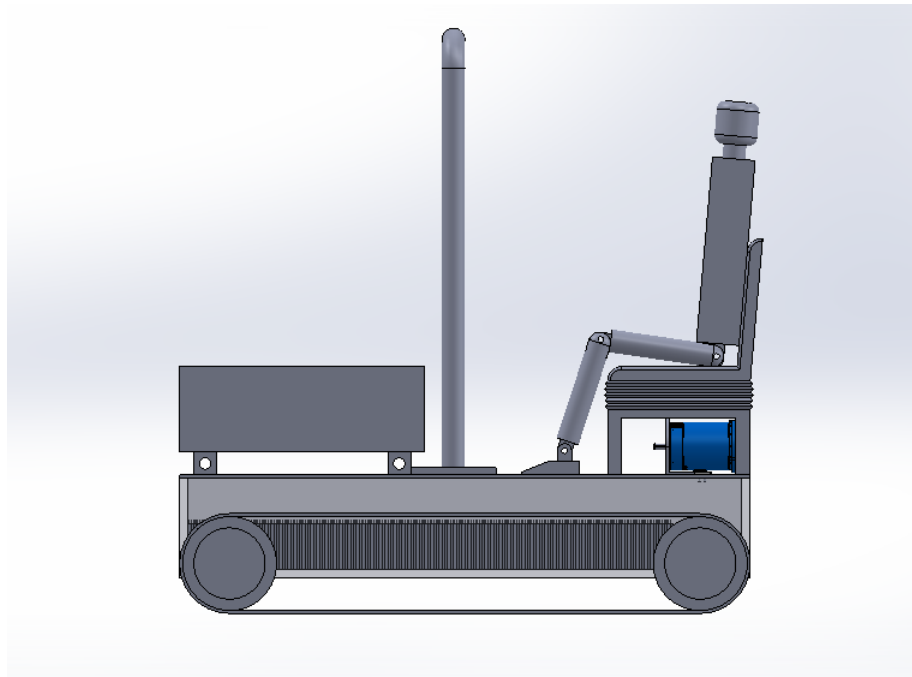


Figura 7.13: Proposta de conceito, vista lateral

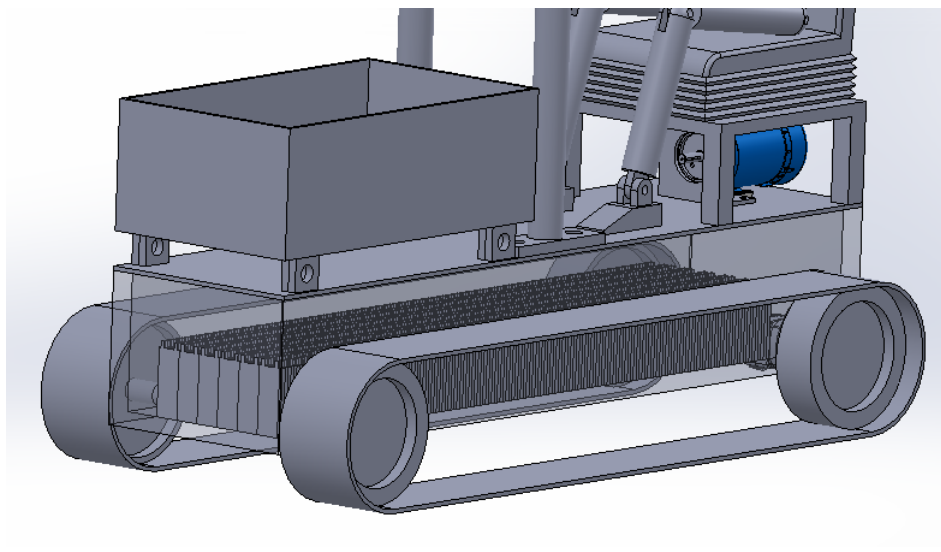


Figura 7.14: Proposta de conceito, vista das células de bateria

Capítulo 8

Conclusão

O objetivo do estudo desta tese foi cumprido, obtendo-se uma fonte energética alternativa para um trator de vinhas estreitas e inclinadas. Identificou-se, com base no estudo da análise *Well-to-Wheels*, que a melhor solução, tanto a nível energético como de emissões, a optar seria a opção elétrica a baterias.

Realizaram-se cálculos para determinar a potência máxima necessária para a motorização do veículo e a inclinação máxima a partir da qual o veículo começa a perder tração. Estes cálculos foram essenciais para estimar o consumo energético e a capacidade necessária para as baterias, para as 8h de utilização diárias necessárias.

Já durante a fase de geração de conceitos tornou-se evidente os problemas de atravancamento associados ao veículo em questão, e tentou arranjar-se a melhor solução tendo em conta os aspectos de rendimento, atravancamento, massa, preço e fiabilidade, ergonomia e segurança. Sendo o veículo elétrico, considerou-se as baterias de lítio como melhor solução já que ocupam um menor volume por capacidade energética e possuem uma menor massa, relativamente às baterias de chumbo.

Como perspetiva para trabalhos futuros, a Engenhotec adquiriu o MultiJyp mais antigo da Quinta do Noval, com o objectivo de implementar a solução elétrica neste veículo adaptado. Pretende-se retirar o motor de combustão interna (Diesel) e o depósito de combustível do veículo, e fazer as alterações necessárias de forma a aproveitar todo o circuito hidráulico e restantes componentes do veículo. De seguida pretende-se adicionar um motor elétrico e baterias de forma a alimentar o motor. O objectivo é fazer testes experimentais de forma a validar os cálculos estimados neste trabalho e confirmar a eficácia da utilização do motor elétrico e das baterias na Região Demarcada do Douro.

Referências

- [1] GEB - Alibaba. URL http://www.alibaba.com/product-detail/GEB-10059156-3-7v-11ah-rechargeable_1665701876.html.
- [2] Biogás - Wikipédia. URL <http://pt.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s>.
- [3] Demonstração de Máquinas Agrícolas. URL <http://www.fsantos.utad.pt/pub-fas/demo98.pdf>.
- [4] EDP - Tarifas Baixa Tensão Normal. URL <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.aspx>.
- [5] ENSTROJ - Electric motor innovation. URL <http://www.enstroj.si/Electric-products/emrax-200.html>.
- [6] Células de combustível - Portal Energia, url = <http://www.portal-energia.com/celulas-de-combustiv>.
- [7] Europe's Energy Portal. URL <http://www.energy.eu/fuelprices/>.
- [8] Gas Natural - Galp Energia, . URL <http://www.galpennergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Paginas/GasNatural.aspx>.
- [9] Gasoleo colorido - Galp Energia, . URL <http://www.galpennergia.com/PT/ProdutosServicos/Produtos/Combustiveis/Paginas/Gasoleo-colorido.aspx>.
- [10] Gpl auto - galp energia. URL <http://www.galpennergia.com/PT/ProdutosServicos/Produtos/Combustiveis/Paginas/GPLAuto.aspx>.
- [11] Célula de combustível - Wikipédia. URL http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_de_combust%C3%ADvel.
- [12] HPEVS - Hi Performance Electric Vehicle Systems. URL <http://hpevs.com/catalog-ac-15.htm>.
- [13] Pré - Poda e Poda na Vinha. URL <http://infovinho.orzare.com/informacao-tecnica>.
- [14] ITM Power makes hydrogen fuel cost breakthrougho Title. URL <http://www.thegreencarwebsite.co.uk/blog/index.php/2013/07/23/itm-power-makes-hydrogen-fuel-cost-breakthrough/>.
- [15] Combustoil, . URL http://www.combustoil.pt/orcamento_combustoil.php.
- [16] Preços combustiveis em Portugal - DGEG, . URL <http://www.precoscombustiveis.dgeg.pt/>.

- [17] Prototype hybrid cars running on compressed air. URL <http://www.dvice.com/2013-1-24/prototype-hybrid-cars-running-compressed-air-expected-2016>.
- [18] Rexroth - Bosch Group. URL <http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/mobile-hydraulics/motors/axial-piston-motors/fixed-axial-piston-motors/a2fm/index>.
- [19] Ar combustível.
- [20] UNICA - União da Indústria de Cana de Açúcar. URL <http://www.unicadata.com.br/>.
- [21] VGN - Veículos a Gás Natural, Pub. Num.1. . URL http://www.apvgn.pt/capa/vgn_01.pdf.
- [22] VGN - Veículos a Gás Natural, Pub. Num.4. . URL http://www.apvgn.pt/capa/vgn_04.pdf.
- [23] Biodiesel - Wikipédia, . URL <http://pt.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>.
- [24] Veículo elétrico - Wikipédia, . URL http://pt.wikipedia.org/wiki/Ve%C3%ADculo_el%C3%A9trico.
- [25] Avinash Kumar Agarwal. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128506000384>.
- [26] Robin Nelson Concauwe, Alan Reid, and Kenneth D Rose Concauwe. TANK-TO-WHEELS Report Version 4.0 - WELL-TO-WHEELS ANALYSIS OF FUTURE AUTOMOTIVE FUELS AND POWERTRAINS IN THE EUROPEAN CONTEXT. URL http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/report_2013/ttw_report_v4_july_2013_final.pdf.
- [27] Mário Cunha, Fernando Alves, Henriques Silva, Silva Serra, Jorge Alexandre, and José Manso. Aplicação da análise de valor na reestruturação vitícola da região demarcada do douro - Fase de mecanização: Análise de protótipo preliminar.
- [28] S W Horstkamp, K E Starling, J H Harwell, and R G Mallinson. High-energy density storage of natural gas in light Hydrocarbon solutions. URL <http://dx.doi.org/10.1002/aic.690430424>.
- [29] Luis Márquez. *Tractores agrícolas: tecnología y utilización*. B & H, 2012. ISBN 9788493518356. URL <http://books.google.pt/books?id=jY5TMwEACAAJ>.
- [30] Jorge Martins. *Motores de Combustao Interna*. Publindustria, 2004.
- [31] Hossein Mousazadeh, Alireza Keyhani, Arzhang Javadi, Hossein Mobli, Karen Abrinia, and Ahmad Sharifi. Evaluation of alternative battery technologies for a solar assist plug-in hybrid electric tractor. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2010.05.002>.
- [32] F. Santos, J. Azevedo, and A. Monteiro. MECANIZAÇÃO DAS VINHAS TRADICIONAIS DA REGIÃO DEMARCADA DO DOURO. URL <http://www.fsantos.utad.pt/pub-fas/oiv-slides.pdf>.

- [33] Fernando Santos. Determinação de curvas características nos motores dos tractores agrícolas. . URL <http://home.utad.pt/~fsantos/pub-fas/curv-mot.pdf>.
- [34] Fernando Santos. Considerações gerais sobre a teoria da tracção. . URL <http://home.utad.pt/~fsantos/pub-fas/traccao.pdf>.
- [35] Fernando Santos. Projecto nº - 6121 - Mecanização das vinhas tradicionais da Região Demarcada do Douro Responsável - RELATÓRIO FINAL. . URL <http://www.fsantos.utad.pt/pub-fas/vt-relatfinal.pdf>.
- [36] Fernando Santos. Projecto AGRO nº 163 - Mecanização das vinhas da Região Demarcada do Douro. 2005. URL <http://home.utad.pt/~fsantos/pub-fas/AGR0163-reelfin.pdf>.
- [37] Fernando Santos and Afonso Azevedo. As unidades de tracção na cultura da vinha da RDD. URL <http://home.utad.pt/~fsantos/pub-fas/leiria021010.pdf>.
- [38] K T Ulrich and S D Eppinger. *Product Design and Development*. McGraw-Hill, 2012. ISBN 9780071086950. URL <http://books.google.pt/books?id=kk9BngEACAAJ>.
- [39] Well-to-tank Report Version. WTT - WELL-TO-WHEELS ANALYSIS OF FUTURE AUTOMOTIVE FUELS AND WELL-to-TANK Report. 2007. URL http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/fileadmin_H04_Well_to_Wheels_WTT_WTT_Report_010307.pdf.
- [40] Jiang Yao-hua, Xiong Shu-sheng, Shi Wei, He Wen-hua, Zhang Tian, Lin Xian-ke, Gu Yun, Lv Yin-ding, Qian Xiao-jun, Ye Zong-yin, Wang Chong-ming, and Wang Bei. Research of Biogas as Fuel for Internal Combustion Engine. *Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific*.

ANEXOS

ANEXO A

Well-to-Tank (WTT)

A.1 Gasolina e gásóleo

A tabela A.1 contém os valores da energia dos combustíveis fósseis mais utilizados, gasolina e diesel, e respectivas emissões por quantidade de energia.

Tabela A.1: Energia e GHG da gasolina e diesel (WTT) [39]

		Gasoline	Diesel fuel
Energy	MJ/MJ	0.08	0.10
GHG	g CO ₂ eq/MJ	6.5	8.6

As figuras A.1 e A.2 apresentam os balanços energéticos e das emissões, até ao produto final.

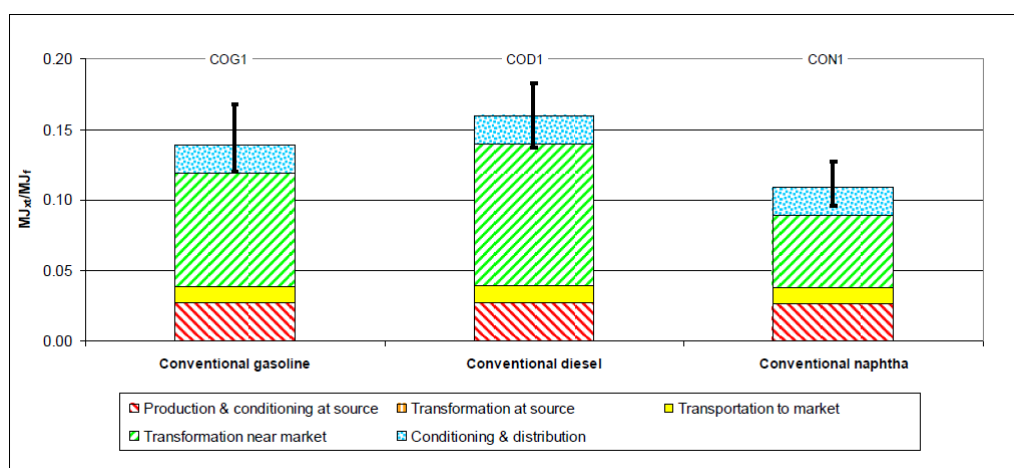


Figura A.1: Balanço energético da gasolina e diesel (WTT) [39]

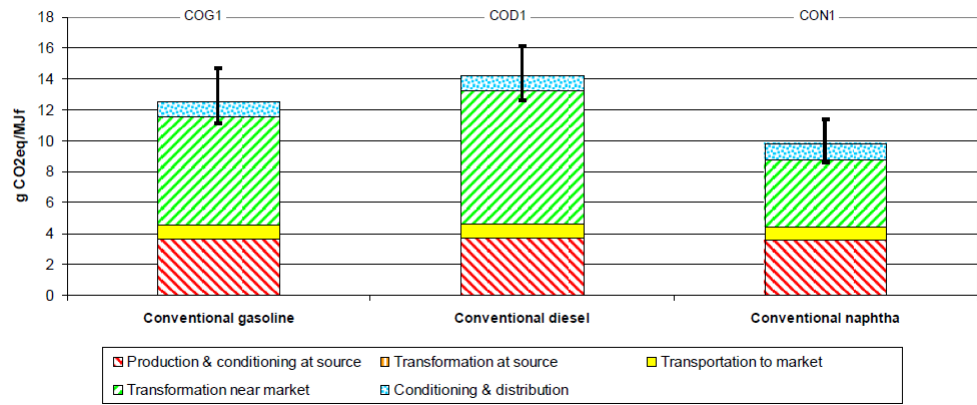


Figura A.2: Balanço das emissões da gasolina e diesel [39]

A.2 GPL

Balanço energético para produzir GPL:

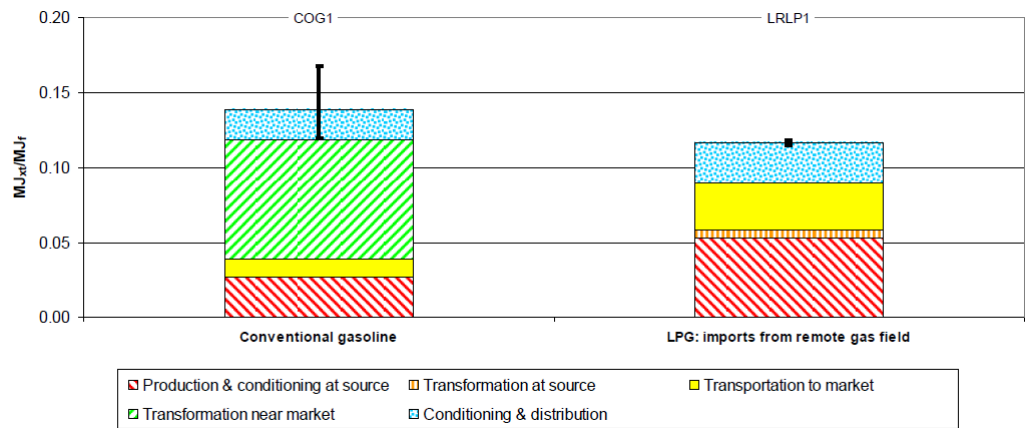


Figura A.3: Balanço energético para produzir GPL [39]

Balanço das emissões da produção de GPL:

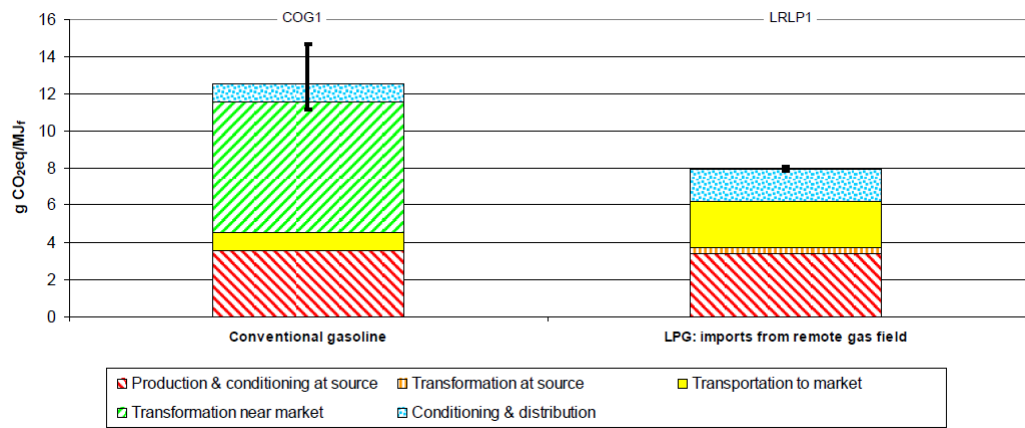


Figura A.4: Balanço das emissões para produzir GPL [39]

A.3 Biodiesel

Balanco energético para produzir Biodiesel:

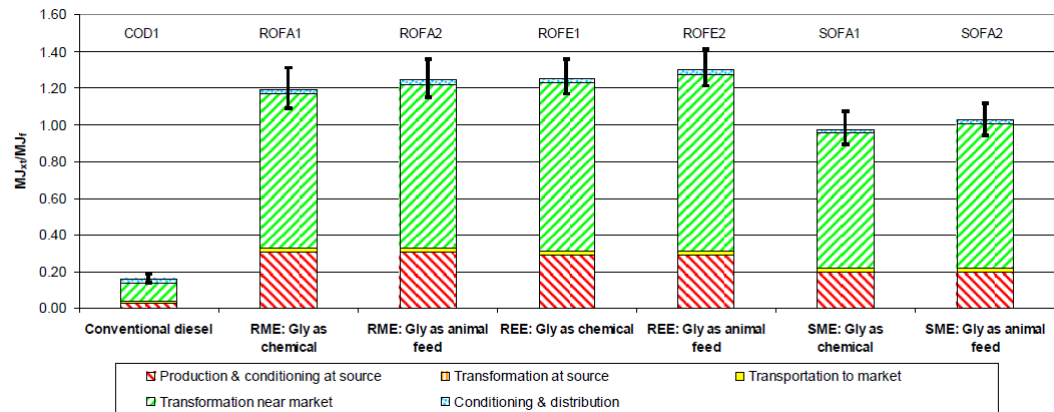


Figura A.5: Balanco energético para produzir Biodiesel [39]

Balanco das emissões para produzir Biodiesel:

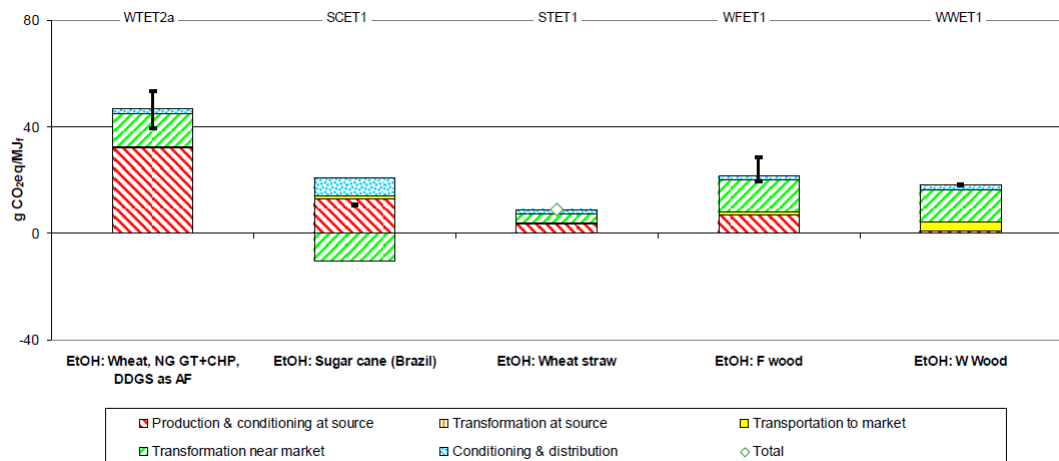


Figura A.6: Balanco das emissões para produzir Biodiesel [39]

A.4 Álcool

Balanco energético para produzir álcool:

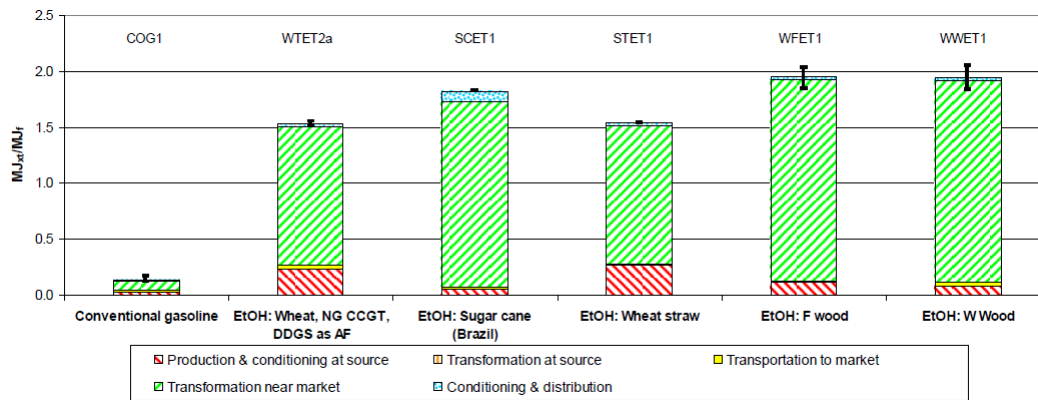


Figura A.7: Balanço energético para produzir álcool a partir de outras matérias-primas [39]

Balanço das emissões para produzir álcool:

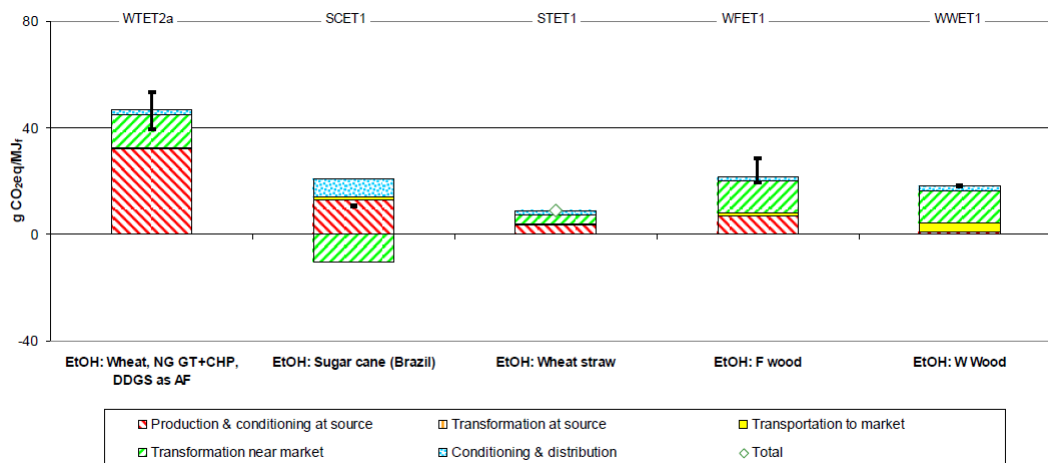


Figura A.8: Balanço das emissões para produzir álcool a partir de outras matérias-primas [39]

A.5 Gás Natural

Balanço energético para produzir gás natural:

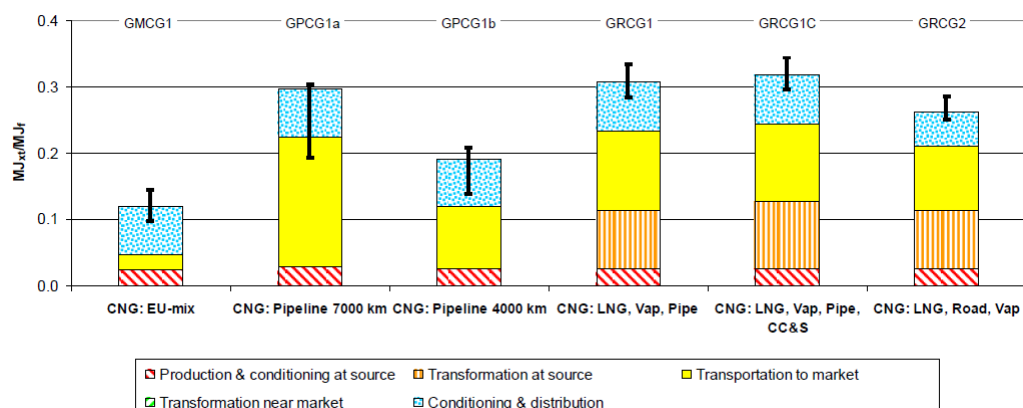


Figura A.9: Balanço energético para produzir o gás natural [39]

Balanço das emissões para produzir gás natural:

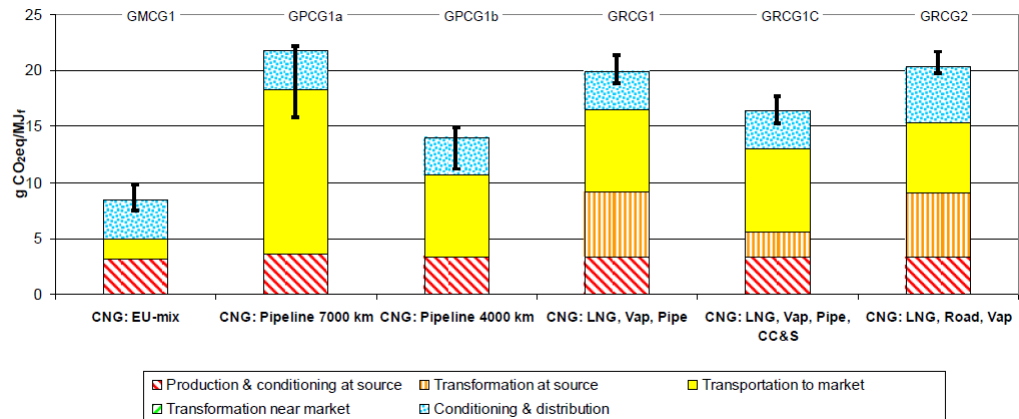


Figura A.10: Balanço das emissões para produzir o gás natural [39]

A.6 Hidrogénio

Hidrogénio obtido a partir de gás natural:

A.6.1 Hidrogénio comprimido

Balanço energético para produzir hidrogénio comprimido:

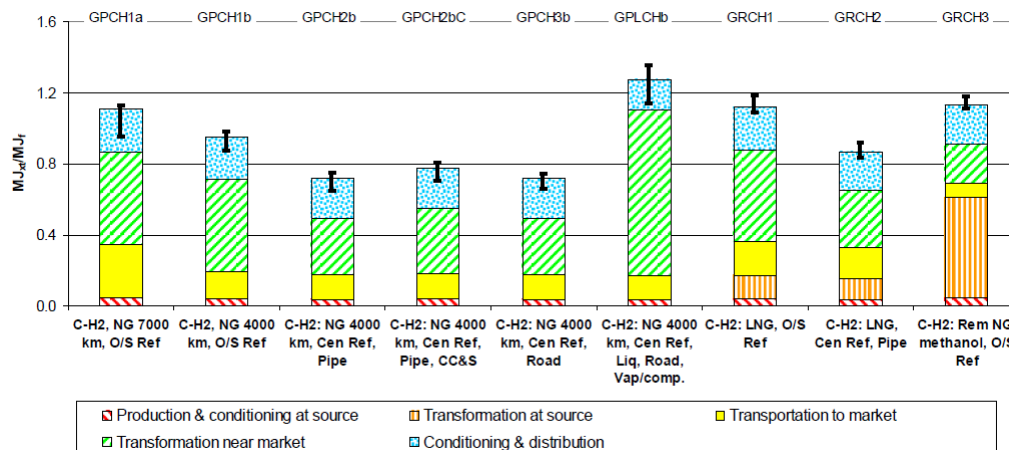


Figura A.11: Balanço energético para produzir hidrogénio comprimido [39]

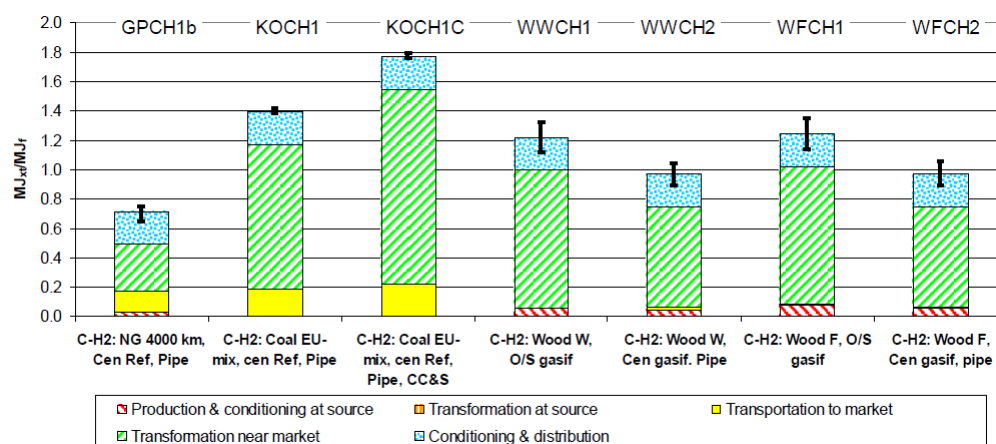


Figura A.12: Balanço energético para produzir hidrogénio comprimido a partir de carvão e madeira [39]

Balanço das emissões para produzir hidrogénio comprimido:

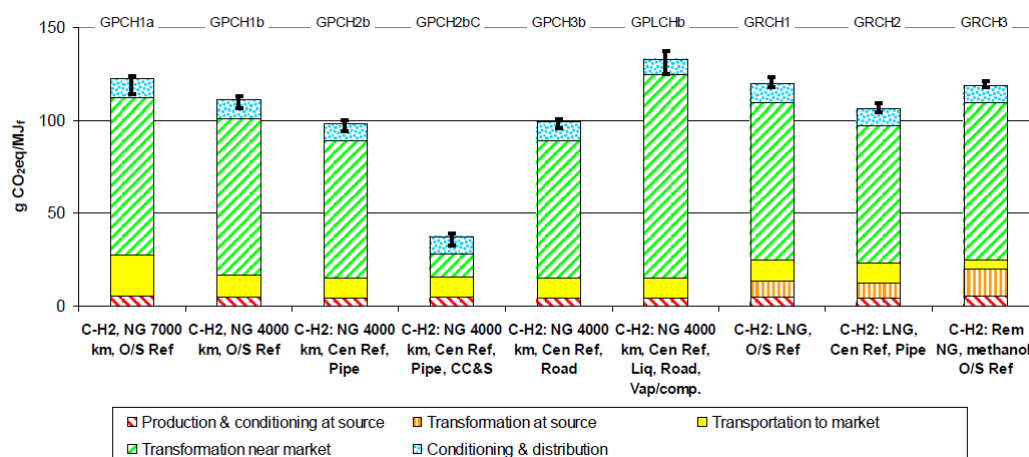


Figura A.13: Balanço das emissões para produzir hidrogénio comprimido [39]

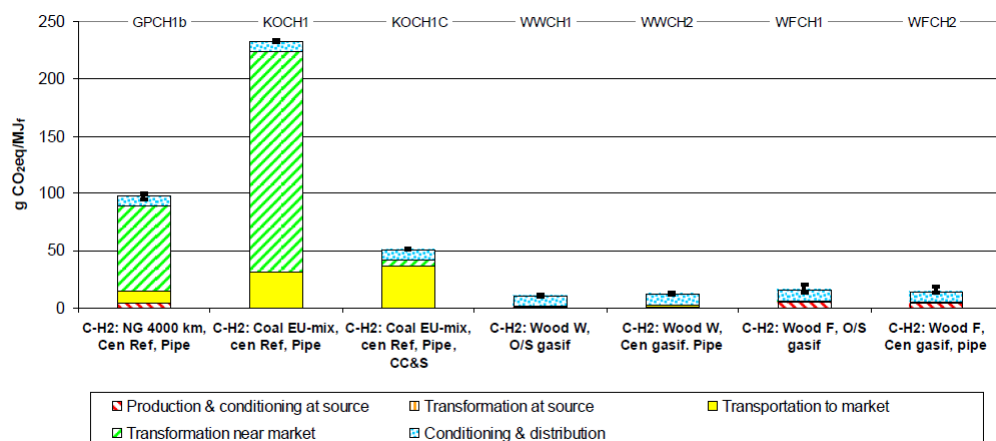


Figura A.14: Balanço das emissões para produzir hidrogénio comprimido a partir de carvão e madeira [39]

A.7 Eletricidade

Balanco energético para produzir eletricidade:

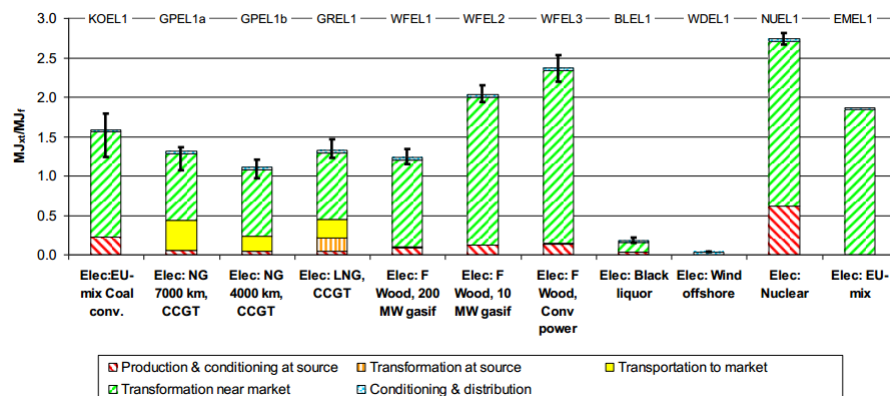


Figura A.15: Balanco energético para produzir eletricidade [39]

Balanco das emissões para produzir eletricidade:

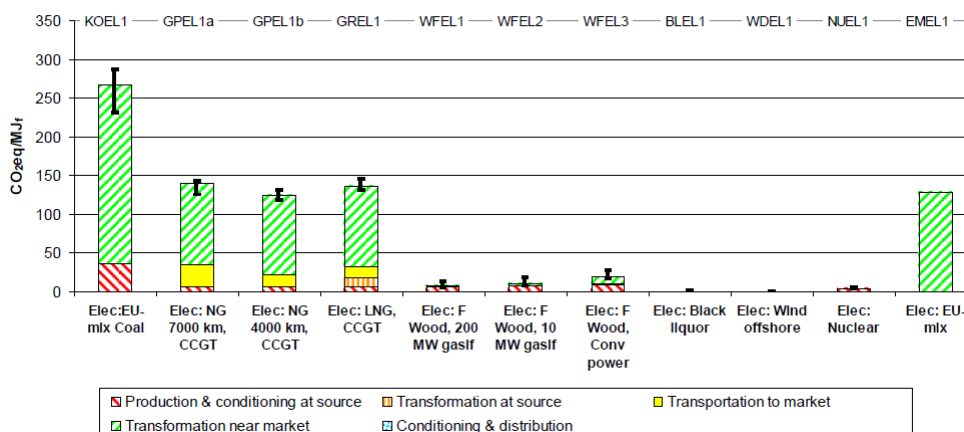


Figura A.16: Balanco das emissões para produzir eletricidade [39]

ANEXO B

Tank-to-Wheels (TTW)

B.1 Características da motorização e combustíveis

Nesta análise foi seleccionado um modelo automóvel para as simulações realizadas, VW Golf sedan de 5 lugares, servindo este veículo de referência para a utilização das diferentes fontes energéticas e tecnologias associadas [26].

Considera-se que o veículo tem as seguintes critérios de performance:

Tabela B.1: Critérios de performance do veículo [26]

Time lag for 0-50 km/h	s	<4
Time lag for 0-100 km/h	s	<13
Time lag for 80-120 km/h in 4 th gear	s	<13
Time lag for 80-120 km/h in 5 th gear	s	-
Gradability at 1 km/h	%	>30
Top speed	km/h	>180
Acceleration	m/s ²	>4.0
Range ⁽¹⁾	km	>600

⁽¹⁾ Where applicable 20 km ZEV range

Os resultados da simulação feita pela ADVISOR foram feitas em:

- Energia do combustível (MJ/km) necessárias para cumprir o cicle NEDC.
- GHG (g CO₂eq/km) emitidas durante o ciclo.

A tabela B.2 representa as simulações configuradas.

Tabela B.2: Simulações configuradas [26]

Powertrains	PISI	DISI	DICI	Hybrid PISI	Hybrid DISI	Hybrid DICI	FC	Hybrid FC	Ref. + hyb. FC
Fuels									
Gasoline	2002 2010+	2002 2010+		2010+	2010+				2010+
Diesel fuel			2002 2010+			2010+			2010+
LPG	2002 2010+								
CNG Bi-Fuel	2002 2010+								
CNG (dedicated)	2002 2010+			2010+					
Diesel/Bio-diesel blend 95/5			2002 2010+			2010+			
Gasoline/Ethanol blend 95/5	2002 2010+	2002 2010+			2010+				
Bio-diesel			2002 2010+			2002 2010+			
DME			2002 2010+			2010+			
Synthetic diesel fuel			2002 2010+			2010+			
Methanol									2010+
Naphtha									2010+
Compressed hydrogen	2010+			2010+			2010+	2010+	
Liquid hydrogen	2010+			2010+			2010+	2010+	

PISI: Port Injection Spark Ignition
DISI: Direct Injection Spark Ignition
DICI: Direct Injection Compression Ignition
FC: Fuel cell
Hybrid FC: Fuel cell with large battery

B.1.1 Parâmetros da simulação

A figura B.1 representa o ciclo de condução NEDC de referência.

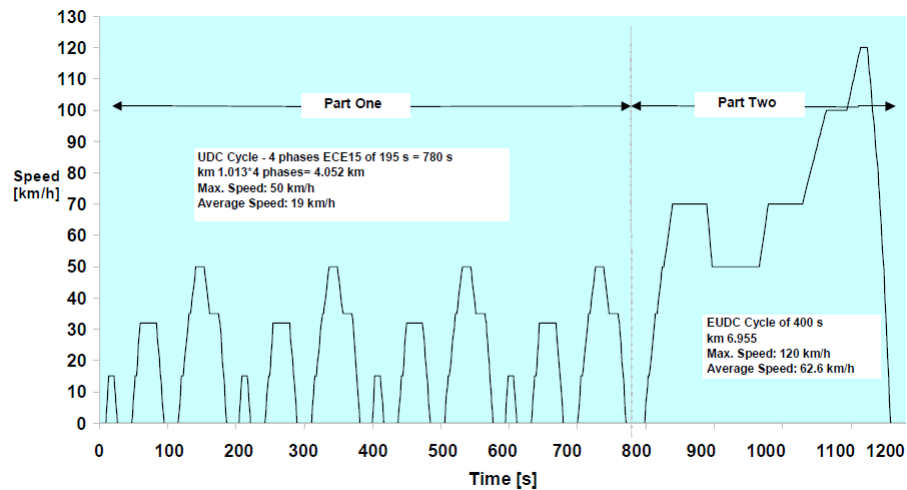


Figura B.1: Ciclo de referência NEDC [26]

B.1.2 Configuração dos veículos e simulação

A tabela B.3 representa o balanço mássico para os veículos com apenas motor de combustão interna.

Tabela B.3: Balanço mássico para motores de combustão interna [26]

Mass balance for "ICE only" Variants 2010		PISI			DISI			DICI	
		Gasoline ¹	LPG (bi-fuel)	CNG (mono-fuel)	Gasoline ¹	LPG (bi-fuel)	CNG (mono-fuel)	Diesel ²	DME (bi-fuel)
Powertrain									
ICE mass	kg	135	135	135	145	145	145	165	165
Transmission mass	kg	50	50	50	50	50	50	50	50
Powertrain mass change	kg	Reference	0	0	Reference	0	0	Reference	0
Storage System									
Fuel Tank Capacity	L	55	80 + 55	150 + 14	55	80 + 55	150 + 14	55	80 + 55
Tank System mass	kg	15	50	160	15	50	160	15	50
Fuel mass	kg	41	76	36	41	76	36	46	89
Storage System mass change	kg	Reference	+70	+140	Reference	+70	+140	Reference	+78
Vehicle									
Curb weight (incl. driver, 90% fuel)	kg	1300	1370	1440	1310	1380	1450	1370	1448
Reference mass for ITW	kg	1325	1395	1465	1335	1405	1475	1395	1473
ITW Class	kg	1360	1360	1470	1360	1360	1470	1360	1470
Performance mass	kg	1425	1495	1565	1435	1505	1575	1495	1573
Payload	kg	600	530	460	590	520	450	530	452
Gross vehicle mass	kg	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900

1) Same vehicle mass is assumed for the different fuel variants Gasoline, Gasoline E10 market bl., Gasoline E20 High RON & E85.
2) Same vehicle mass is assumed for the different fuel variants Diesel, Diesel B7 market blend, FAME, FT-Diesel & HVO.

A tabela B.4 representa o balanço mássico para os veículos de motorização elétrica.


Tabela B.4: Balanço mássico para veículos xEV [26]

Mass balance for xEV Variants 2010		DISI ("ICE only")	Hybrid DISI	PHEV20 DISI	REEV80 SI	BEV	FCEV	DICI ("ICE only")	Hybrid DICI	PHEV20 DICI
		Gasoline ¹	Gasoline ¹	Gasoline ¹	Gasoline ¹	Electricity	Hydrogen ³	Diesel ²	Diesel ²	Diesel ²
Powertrain										
ICE mass	kg	145	145	145	135	0	0	165	165	165
Transmission mass	kg	50	80	80	10	10	10	50	80	80
Powertrain mass change	kg	Reference	+30	+30	-50	-185	-185	Reference	+30	+30
Fuel Cell										
Fuel cell module mass ⁵	kg	#	#	#	#	#	167	#	#	#
Electric Components										
eMachine mass ⁴	kg	#	32	44	76	76	72	#	32	44
Generator (2 nd eMachine) mass ⁴	kg	#	#	#	42	#	#	#	#	#
Battery mass ⁴	kg	#	34	80	165	200	34	#	34	80
xEV wiring harness mass	kg	#	11	15	20	20	20	#	11	15
eComponents mass change	kg	Reference	+77	+139	+303	+296	+126	Reference	+77	+139
Storage System										
Fuel Tank Capacity	L	55	55	55	35	0	#	55	55	55
Tank System mass	kg	15	15	15	15	0	92	15	15	15
Fuel mass	kg	41	41	41	26	0	4	46	46	46
Storage System mass change	kg	Reference	0	0	-15	-56	+40	Reference	0	0
Vehicle										
Curb weight (incl. driver, 90% fuel)	kg	1310	1417	1479	1548	1365	1458	1370	1477	1539
Reference mass for ITW	kg	1335	1442	1504	1573	1390	1483	1395	1502	1564
ITW Class	kg	1360	1470	1470	1590	1360	1470	1360	1470	1590
Performance mass	kg	1435	1542	1604	1673	1490	1583	1495	1602	1664
Payload	kg	590	483	421	352	535	442	530	423	361
Gross vehicle mass	kg	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900

1) Same vehicle mass is assumed for the different fuel variants Gasoline, Gasoline E10 market bl., Gasoline E20 High RON & E85.
2) Same vehicle mass is assumed for the different fuel variants Diesel, Diesel B7 market blend, FAME, FT-Diesel & HVO.
3) Same vehicle mass is assumed for both Hydrogen Variants (CGH2 & cCGH2).
4) Masses for e-components include housing, power electronics and cooling system.
5) Mass of Fuel Cell module includes the whole system.

A tabela B.5 as especificação do motor de combustão interna a gasolina (veículos de 2010).

Tabela B.5: Especificações do motor de combustão interna a gasolina (veículo de 2010) [26]

 AVL	Gasoline ICE Variants Specifications by AVL		Gasoline ICE Variants 2010			
			PISI ("ICE only")	DISI ("ICE only")	Hybrid DISI	PHEV20 DISI
ICE Type / Technology	---	- MPI - NA	- TGD1 ICE - IVVT			- NA - High-expansion Atkinson Cycle - VVT-i - Cooled EGR
Displacement	L	1.4	1.4			1.4
No. of Cylinders	---	IL4	IL4			IL4
Specific power	kW / L	~64	~64			~39
Maximum Power	kW @ rpm	90 @ 5750	90 @ 4300			55 @ 5500
Maximum Torque	Nm @ rpm	158 @ 3500	200 @ 1750 - 4000			110 @ 4000
Maximum Speed	rpm	6250	4800			6000
Idle Speed	rpm	700	750			800
BSFC @ 2000 rpm / 2 bar	g/kWh	380 - 385	370 - 375			~350
BSFC minimum	g/kWh	240	235			~235

A tabela B.6 representa as especificações do motor de combustão interna a diesel (veículos de 2010).

Tabela B.6: Especificações do motor de combustão interna a diesel [26]

Diesel ICE Variants Specifications by AVL		Diesel ICE Variants 2010			
		DICI ("ICE only")	Hybrid DICI	PHEV20 DICI	REEV80 CI
ICE Type / Technology	---	- Common Rail with 1800 bar, solenoid injector - High pressure EGR - VGT Turbocharger - Closed coupled DOC-DPF			No REEV80 CI Variant for 2010
Displacement	L	1.6			
No. of Cylinders	---	4			
Specific power	kW / L	~55			
Maximum Power	kW @ rpm	88 @ 4000			
Maximum Torque	Nm @ rpm	285 @ 1750 – 2750			
Maximum Speed	rpm	4500			
Idle Speed	rpm	780			
BSFC @ 2000 rpm / 2 bar	g/kWh	280 - 285			
BSFC minimum	g/kWh	205			

As tabelas B.7, B.8 e B.9 Utilização de motores de combustão interna com ignição por faísca com combustíveis alternativos:

Tabela B.7: Especificações do motor PISI a operar com combustíveis alternativos (veículos de 2010) [26]

Gasoline ICE Variants Specifications by AVL		PISI ICE 2010 for "ICE only" Variants				
		Gasoline	E20 high RON	E85	LPG	CNG
ICE Type / Technology	---	- MPI - NA			LPG ICE - MPI - NA	CNG ICE - MPI - NA
Displacement	L	1.4			1.46	1.72
No. of Cylinders	---	IL4				
Specific power	kW / L	~64			~64	~57
Maximum Power	kW @ rpm	90 @ 5750			94 @ 5750	99 @ 5750
Maximum Torque	Nm @ rpm	158 @ 3500			160 @ 3500	170 @ 3500
Maximum Speed	rpm	6250				
Idle Speed	rpm	700				
BSFC @ 2000 rpm / 2 bar	g/kWh	380 - 385	414	560	357 ± ~375 Gasoline equivalent	355 ± ~375 Gasoline equivalent
BSFC minimum	g/kWh	240	251	340	217 ± ~231 Gasoline equivalent	216 ± ~228 Gasoline equivalent

Tabela B.8: Especificações do motor DISI a operar com combustíveis alternativos (veículos de 2010) [26]

Gasoline ICE Variants Specifications by AVL		DISI ICE 2010 for "ICE only", Hybrid & PHEV20 Variants				
		Gasoline	E20 high RON	E85	LPG ¹	CNG ¹
ICE Type / Technology	---	- TGDI ICE - IVVT			LPG ICE - Turbo - MPI - IVVT	CNG ICE - Turbo - MPI - IVVT
Displacement	L	1.4			1.46	1.55
No. of Cylinders	---	IL4				
Specific power	kW / L	~64			~64	~64
Maximum Power	kW @ rpm	90 @ 4300			94 @ 4300	99 @ 4300
Maximum Torque	Nm @ rpm	200 @ 1750 - 4000			210 @ 1750 - 4000	220 @ 1750 - 4000
Maximum Speed	rpm	4800				
Idle Speed	rpm	750				
BSFC @ 2000 rpm / 2 bar	g/kWh	370 - 375	401	540	346 ± ~369 Gasoline equivalent	344 ± ~363 Gasoline equivalent
BSFC minimum	g/kWh	235	239	322	210 ± ~224 Gasoline equivalent	205 ± ~215 Gasoline equivalent

1) LPG & CNG fuel is only used for the "ICE only" variant.

Tabela B.9: Especificações dos componentes do motor xEV para diferentes configurações (veículos de 2010) [26]

Variant	Component	Specific	Unit	Requirements to meet the performance criteria	Value*
HEV	Electric Machine	Power	kW	Complete regenerative braking during the NEDC	24 (12)
		Torque	Nm	Complete regenerative braking during the NEDC	160 (80)
	Li-Ion Battery Pack	Power	kW	Required electric power from/to the electric machine	30
		Energy	kWh	Along the NEDC, complete regenerative braking and a lifetime of at least 160000 km	1.4 (0.4)
PHEV	Electric Machine	Power	kW	Electric drive up to 100 km/h: continuously, during the NEDC (continuous P and Tq) occasionally, during high-demanding transients (peak P & Tq): Artemis Cycles as driving reference	40 (20)
		Torque	Nm		190 (100)
	Li-Ion Battery Pack	Power	kW	Required electric power from/to the electric machine	50
		Energy	kWh	Along the NEDC, 20 km of All Electric Range and a lifetime of at least 160000 km	3.7 (2.1)
REEV	Electric Machine	Power	kW	Maximum Speed => Continuous Power Acceleration and Elasticity => Peak Power Gradeability 20% => Continuous Torque Gradeability 30% => Peak Torque	90 (45)
		Torque	Nm		280 (180)
	Generator	Power	kW	Guarantees the continuous power required by the electric machine	57 (57)
		Torque	Nm	Suitable coupling with the ICE	114 (114)
	Li-Ion Battery Pack	Power	kW	Required electric power from/to the electric machine during charge depleting and high-demanding transients of charge sustaining	100
		Energy	kWh	Along the NEDC, 80 km of All Electric Range and a lifetime of at least 160000 km	14.9 (11.2)
BEV	Electric Machine	Power	kW	Maximum Speed => Continuous Power Acceleration and Elasticity => Peak Power Gradeability 20% => Continuous Torque Gradeability 30% => Peak Torque	90 (45)
		Torque	Nm		280 (180)
	Li-Ion Battery Pack	Power	kW	Required electric power from/to the electric machine	>100
		Energy	kWh	Along the NEDC, 120 km (2010) or 200 km (2020) of All Electric Range and a lifetime of at least 160000 km	17.8 (14.2)
FCEV	Electric Machine	Power	kW	Maximum Speed => Continuous Power Acceleration and Elasticity => Peak Power Gradeability 20% => Continuous Torque Gradeability 30% => Peak Torque	85 (60)
		Torque	Nm		280 (195)
	Fuel Cell System	Power	kW	To supply the required power to the electric machine. Demanding transients require the battery support (top speed: 180 km/h)	70
	Li-Ion Battery Pack	Power	kW	Required electric power from/to the electric machine	30
		Energy	kWh	Along the NEDC, complete regenerative braking and a lifetime of at least 160000 km	1.4 (0.6)

*) Electric Machine, Generator, Fuel Cell System: The values show the peak and (in parenthesis) the continuous power and torque;
Li-Ion Battery Pack: The values show the total and (in parenthesis) the available energy

B.2 Resultados da configuração

A tabela B.10 mostra os resultados da simulação para os veículos com apenas motor de combustão interna.

Tabela B.10: Resultados da simulação para os veículos com apenas motor de combustão interna [26]

2010 VARIANTS	Curb Weight	Fuel Tank Capacity	Fuel Consumption ¹			El. Energy Consumption ¹		GHG emissions ¹			
	kg	L	l/100km	l/100km	kg/100km	w/o charging losses	with charging losses	as CO ₂	as CH ₄	as N ₂ O	TOTAL
	kg	L	l/100km	l/100km	kg/100km	kWh/100km	kWh/100km	g CO ₂ /km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km
PiSi ("ICE only") 2010, MT5											
Gasoline	1300	55	211.3	6.57	4.89	#	#	155.1	0.3	0.4	155.8
Gasoline E10 market blend	1300	55	211.3	6.80	5.10	#	#	154.8	0.3	0.4	155.5
Gasoline E20 high RON	1300	55	208.6	6.95	5.25	#	#	152.5	0.3	0.4	153.2
LPG ²	1370	80	215.7	8.53	4.69	#	#	141.8	0.3	0.4	142.5
CNG ³	1440	150 (25 kg)	232.3	#	5.15	#	#	130.7	1.5	0.4	132.6
E85	1300	55	207.1	9.04	7.10	#	#	148.2	0.3	0.4	148.9
DiSi ("ICE only") 2010, MT6											
Gasoline	1310	55	203.8	6.33	4.72	#	#	149.6	0.3	0.4	150.3
Gasoline E10 market blend	1310	55	203.8	6.56	4.92	#	#	149.3	0.3	0.4	150.0
Gasoline E20 high RON	1310	55	201.3	6.71	5.07	#	#	147.2	0.3	0.4	147.9
LPG ²	1380	80	207.8	8.22	4.52	#	#	136.6	0.3	0.4	137.3
CNG ³	1450	150 (25 kg)	211.8	#	4.70	#	#	119.1	1.5	0.4	121.0
E85	1310	55	198.6	8.67	6.81	#	#	142.1	0.3	0.4	142.8
DiCi ("ICE only") 2010, MT6											
Diesel	1370	55	162.5	4.53	3.77	#	#	119.0	0.1	1.1	120.2
Diesel B7 market blend	1370	55	162.5	4.55	3.81	#	#	119.3	0.1	1.1	120.5
FAME	1370	55	162.5	4.91	4.37	#	#	123.8	0.1	1.1	125.0
DME ⁴	1448	80	171.8	9.02	6.04	#	#	115.6	0.1	1.1	116.8
FT-Diesel	1370	55	162.5	4.73	3.69	#	#	115.1	0.1	1.1	116.3
HVO	1370	55	162.5	4.73	3.69	#	#	115.1	0.1	1.1	116.3

1) NEDC Cycle results for cold start condition; Vehicle Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

2) Bi-valent LPG Vehicle; MPI ICE; ICE Displacement increased to compensate additional vehicle weight;

3) Mono-valent CNG Vehicle; MPI ICE; ICE Displacement increased to compensate reduced ICE volumetric efficiency & additional vehicle weight;

4) Only theoretical consideration of Bi-valent DME Vehicle - DME is currently not used for PC applications; ICE Displacement increased to compensate add. vehicle weight;

A tabela B.11 mostra os resultados da simulação de um veículo elétrico híbrido.

Tabela B.11: Resultados da simulação do veículo elétrico híbrido [26]

2010 VARIANTS	Curb Weight	Fuel Tank Capacity	Fuel Consumption ¹			El. Energy Consumption ¹		GHG emissions ¹			
	kg	L	l/100km	l/100km	kg/100km	w/o charging losses	with charging losses	as CO ₂	as CH ₄	as N ₂ O	TOTAL
	kg	L	l/100km	l/100km	kg/100km	kWh/100km	kWh/100km	g CO ₂ /km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km
Hybrid DiSi 2010 (AT6 + TCC)											
Gasoline	1417	55	141.7	4.44	3.28	#	#	104.9	0.3	0.4	105.6
Gasoline E10 market blend	1417	55	141.7	4.56	3.42	#	#	104.7	0.3	0.4	105.4
Gasoline E20 high RON	1417	55	139.9	4.66	3.52	#	#	103.1	0.3	0.4	103.8
LPG	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
CNG	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
E85	1417	55	138.1	6.03	4.74	#	#	99.6	0.3	0.4	100.3
Hybrid DiCi 2010 (AT6 + TCC)											
Diesel	1477	55	128.0	3.60	2.97	#	#	94.4	0.1	1.1	95.6
Diesel B7 market blend	1477	55	128.0	3.59	3.00	#	#	94.6	0.1	1.1	95.8
FAME	1477	55	128.0	3.87	3.44	#	#	98.2	0.1	1.1	99.4
DME	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
FT-Diesel	1477	55	128.0	3.73	2.91	#	#	91.3	0.1	1.1	92.5
HVO	1477	55	128.0	3.73	2.91	#	#	91.3	0.1	1.1	92.5

1) NEDC Cycle results for cold start condition; Vehicle Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

A tabela B.12 mostra os resultados da simulação de um veículo elétrico híbrido plug-in.

Tabela B.12: Resultados da simulação do veículo elétrico híbrido plug-in [26]

2010 VARIANTS	Curb Weight	Fuel Tank Capacity	Fuel Consumption ¹			El. Energy Consumption ¹		GHG emissions ¹			
						w/o charging losses	with charging losses ²	as CO ₂	as CH ₄	as N ₂ O	TOTAL
	kg	L	MJ/100km	l/100km	kg/100km	kWh/100km	kWh/100km	g CO ₂ /km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km
PHEV20 DISI 2010 (AT6 + TCC)											
Gasoline	1479	55	101.2	3.17	2.34	3.12	4.07	75.0	0.1	0.2	75.3
Gasoline E10 market blend	1479	55	101.2	3.25	2.44	3.12	4.07	74.9	0.1	0.2	75.2
Gasoline E20 high RON	1479	55	99.8	3.33	2.51	3.12	4.07	73.7	0.1	0.2	74.0
LPG	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
CNG	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
E85	1479	55	98.6	4.30	3.38	3.12	4.07	71.3	0.1	0.2	71.6
PHEV20 DICI 2010 (AT6 + TCC)											
Diesel	1539	55	91.6	2.57	2.12	3.17	4.14	67.4	0.1	0.6	68.1
Diesel B7 market blend	1539	55	91.6	2.57	2.15	3.17	4.14	67.8	0.1	0.6	68.5
FAME	1539	55	91.6	2.77	2.46	3.17	4.14	70.2	0.1	0.6	70.9
DME	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
FT-Diesel	1539	55	91.6	2.67	2.08	3.17	4.14	65.3	0.1	0.6	66.0
HVO	1539	55	91.6	2.67	2.08	3.17	4.14	65.3	0.1	0.6	66.0

1) NEDC Cycle results for cold start condition according to ECE 101 regulation; Vehide Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

2) Charging losses based on the Charger Type 3 x kW (1x 16A)

1) NEDC Cycle results for cold start condition according to ECE 101 regulation; Vehicle Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

2) Charging losses based on the Charger Type 3.x kW (1x 16A)

A tabela B.13 mostra os resultados da simulação de um veículo elétrico com extensor de bateria.

Tabela B.13: Resultados da simulação do veículo elétrico com extensor de bateria [26]

2010 VARIANTS	Curb Weight	Fuel Tank Capacity	Fuel Consumption ¹			El. Energy Consumption ¹		GHG emissions ¹			
						w/o charging losses	with charging losses ²	as CO ₂	as CH ₄	as N ₂ O	TOTAL
	kg	L	MJ/100km	l/100km	kg/100km	kWh/100km	kWh/100km	g CO ₂ /km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km
REEV80 SI 2010 (Single Stage Transmission)											
Gasoline	1548	35	34.9	1.09	0.81	9.12	11.58	25.7	0.1	0.1	25.9
Gasoline E10 market blend	1548	35	34.9	1.12	0.84	9.12	11.58	25.5	0.1	0.1	25.7
Gasoline E20 high RON	1548	35	34.4	1.15	0.86	9.12	11.58	25.0	0.1	0.1	25.2
LPG	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
CNG	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
E85	1548	35	33.9	1.48	1.16	9.12	11.58	24.2	0.1	0.1	24.4

1) NEDC Cycle results for cold start condition according to ECE 101 regulation; Vehicle Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

2) Charging losses based on the Charger Type 3.x kW (1x 16A)

1) NEDC Cycle results for cold start condition according to ECE 101 regulation; Vehicle Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

2) Charging losses based on the Charger Type 3.x kW (1x 16A)

A tabela B.14 mostra os resultados da simulação de um veículo elétrico a baterias.

Tabela B.14: Resultados da simulação do veículo elétrico a baterias [26]

2010 VARIANTS	Curb Weight	Fuel Tank Capacity	Fuel Consumption ¹			El. Energy Consumption ¹		GHG emissions ¹			
						w/o charging losses	with charging losses ²	as CO ₂	as CH ₄	as N ₂ O	TOTAL
	kg	L	MJ/100km	l/100km	kg/100km	kWh/100km	kWh/100km	g CO ₂ /km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km
BEV 2010 (Single Stage Transmission)											
Electricity	1365	#	#	#	#	11.38	14.49	0.0	0.0	0.0	0.0

1) NEDC Cycle results for cold start condition; Vehicle Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

2) Charging losses based on the Charaer Type 3.x kW (1x 16A)

1) NEDC Cycle results for cold start condition; Vehicle Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

2) Charging losses based on the Charger Type 3.x kW (1x 16A)

A tabela B.15 mostra os resultados da simulação de um veículo elétrico a célula de combustível.

Tabela B.15: Resultados da simulação do veículo elétrico a célula de combustível [26]

2010 VARIANTS	Curb Weight	Fuel Tank Capacity	Fuel Consumption ¹			El. Energy Consumption ¹		GHG emissions ¹			
						w/o charging losses	with charging losses	as CO ₂	as CH ₄	as N ₂ O	TOTAL
	kg	L	MJ/100km	l/100km	kg/100km	kWh/100km	kWh/100km	g CO ₂ /km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km	g CO ₂ eq/km
FCEV 2010 (Single Stage Transmission)											
Hydrogen (CGH2)	1458	4	74.99	#	0.624	#	#	0.0	0.0	0.0	0.0
Hydrogen (cCGH2)	1458	4	74.99	#	0.624	#	#	0.0	0.0	0.0	0.0

1) NEDC Cycle results for cold start condition: Vehicle Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

1) NEDC Cycle results for cold start condition; Vehicle Test Mass = Curb weight incl. Driver, 90% fuel

ANEXO C

Análise de protótipo preliminar

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE VALOR NA REESTRUTURAÇÃO VITÍCOLA DA REGIÃO DEMARCADA DO DOURO

- FASE DA MECANIZAÇÃO: ANÁLISE DE PROTÓTIPO PRELIMINAR -

Mário Cunha¹, Fernando Alves¹, Silva Henriques², Silva Serra², Jorge Alexandre², José Manso³

¹ ADVID-Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense. Régua

² INETI-Instituto Nacional de Energia e Tecnologia Industrial. Lisboa

³ Barros, Almeida & C^o-Vinhos, SA. Adorigo. Tabuaço

RESUMO

Com o objectivo da manutenção das vinhas tradicionais em produção concorrencial, apresentamos os primeiros resultados de um protótipo conducente à procura de soluções da sua mecanização. O projecto desenvolveu-se desde 1993, utilizando o método Análise do Valor, com apoio do Caderno de Encargos Funcional (CEF).

Analisa-se a viabilidade da preparação prévia destas vinhas para permitir a introdução do equipamento, cujo desempenho é avaliado em função do previsto no CEF.

Conseguidas as condições de transitividade com menores custos, a melhoria da produtividade do trabalho, redução da quantidade de mão-de-obra e penosidade dos trabalhos verificados, encorajam o aperfeiçoamento do protótipo, potencializando as vinhas tradicionais, com pequenas alterações, como solução de reestruturação.

RESUMÉ

Avec l'objectif de maintenir les vignes traditionnelles en production concurrentielle, nous vous présentons les premiers résultats d'un prototype susceptible d'apporter des solutions à leur mécanisation. Le project a été développé d'après 1993, en utilisant les techniques d'Analyse de la Valeur, y compris un Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF).

La viabilité de la préparation au préalable de ces vignes est analysée, permettant l'introduction du matériel, et son application étudiée en fonction du CdCF.

Réunies les conditions de transition aux moindres coûts, l'amélioration de la productivité et la réduction de la main d'œuvre ainsi que la difficulté du travail sont vérifiées nous encourageons à perfectionner le prototype, et de considérer le système des vignes traditionnelles comme un modèle possible de restructuration.

1- INTRODUÇÃO

Em diferentes sistemas de implantação, existem na Região Demarcada do Douro cerca de 39.000 ha de vinha, cujos níveis de mecanização não apresentam praticamente transições graduais. Passa-se de uma mecanização inexistente (motorização) nas vinhas tradicionais (cerca de 70%), para uma incipiente mecanização nas vinhas novas. Por outro lado, a introdução de máquinas convencionais, implica alterações profundas no sistema de condução, nomeadamente do espaço entre linhas, originando dificuldades de controlo da erosão nas zonas mais declivosas, tornando-o limitativo de densidades de plantação elevadas.

Está-se em presença de uma cultura de encosta de minifúndio (média 1 ha/viticultor), cuja plantação tradicional segundo as curvas de nível (declive lateral das entrelinhas -10 a 20%), a falta de acessos, os compassos estreitos (1,2 x 1m) e a elevada pedregosidade (40-45%), são factores limitantes à introdução da motorização. Daí que se mantenha, ainda, o recurso à tracção animal e a utilização intensiva de herbicidas. Nestes casos, a produtividade do trabalho é muito baixa, exigindo em média 1100 a 1700 h/ha/ano, podendo atingir em condições extremas valores próximos das 2000 h/ha/ano. Deste modo, a mão-de-obra representa cerca de 84% dos encargos totais da exploração vitícola duriense, contrastando com o nível dos encargos com a mecanização do trabalho que oscila entre 0 e 5%.

Todavia, por razões sócio-económicas e paisagísticas, numa fase de transição da reestruturação, estas vinhas terão que se manter em produção. A sua continuidade, como nova solução da reestruturação depende(rá) da quantidade de mão-de-obra, cada vez mais cara e escassa. Importa, portanto, estar consciente para a urgência da procura de soluções que permitam a motorização das operações culturais em maior ou menor grau das vinhas tradicionais com o consequente aumento da produtividade e melhoria das condições de trabalho.

Partindo deste estrangulamento, a ADVID e o INETI, com o apoio de outros organismos da Região congujam desde 1993 esforços para a concepção de um sistema que responda às necessidades dos viticultores. Apresentamos os primeiros resultados do desempenho do protótipo. A continuação da aplicação da Análise de Valor (AV) e posterior industrialização, terá como finalidade a obtenção de um preço do produto final compatível com a rentabilidade dos viticultores da Região.

MATERIAL E MÉTODOS

O projecto desenvolveu-se utilizando o método da análise de valor (fig 1) com apoio do Caderno de Encargos Funcional (CEF), elaborado por um Grupo de Análise Funcional (GAF) composto por técnicos de AV, viticultura, mecanização e viticultores, potenciais utilizadores do futuro equipamento. O CEF é um documento onde quem encomenda exprime as suas necessidades por meio de funções e de contrangimentos, permitindo assim a quem concebe e/ou realiza apresentar a proposta mais conveniente.

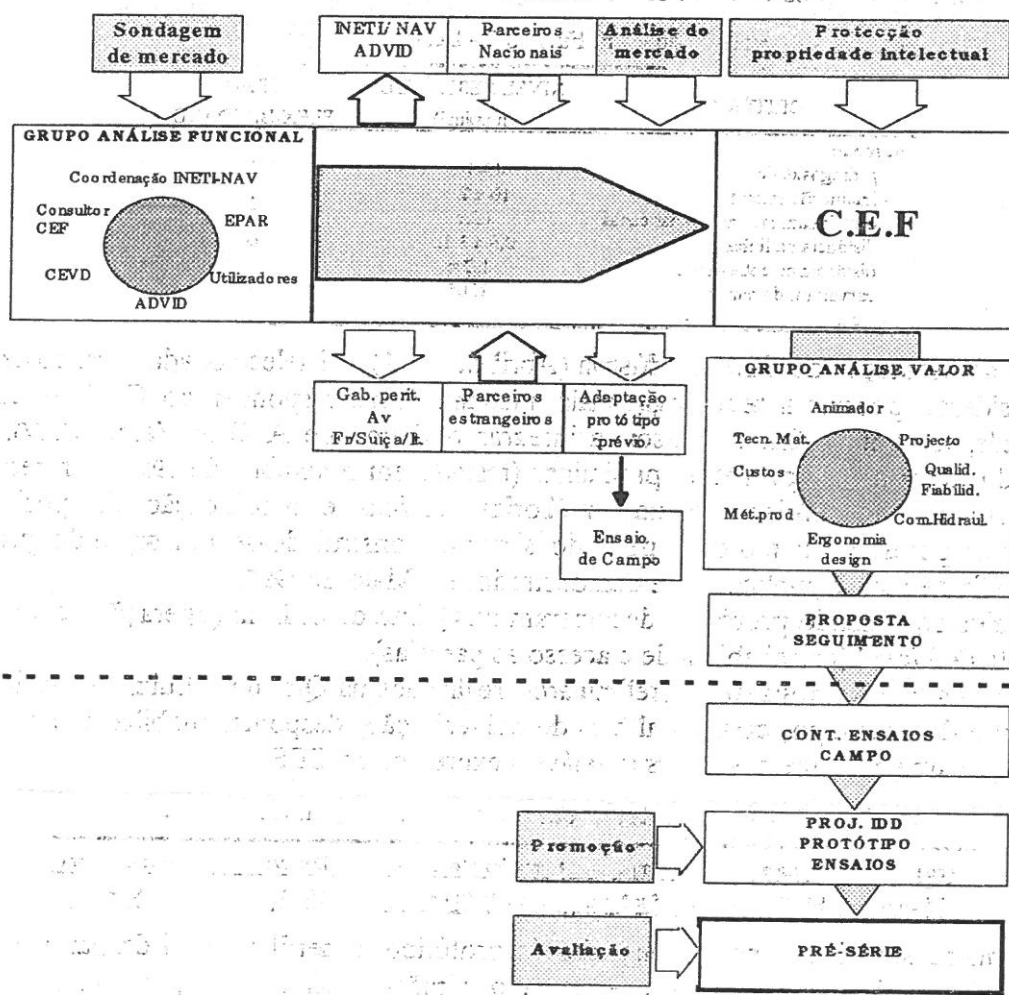


Fig. 1- Esquema representativo da metodologia seguida na aplicação da análise de valor ao caso em estudo

Para a elaboração do CEF, foi considerada a necessidade dos utilizadores, a análise das operações culturais realizadas na vinha, a análise dos equipamentos em utilização, testados/abandonados e o mercado potencial através da realização de um estudo de mercado.

Foi estudado o interface do produto, através da análise e caracterização dos diversos interactivos, definindo-se a lista das necessidades funcionais do sistema a desenvolver. Cada necessidade funcional é inscrita no CEF, sendo caracterizada por meio de "critérios", "níveis desejáveis" e "graus de flexibilidade".

A cada um dos critérios é atribuído um grau de flexibilidade, referente ao nível desejável previamente definido, que permite organizar o diálogo entre parceiros no que diz respeito às possíveis soluções, na procura da optimização. Este parâmetro indica o grau de negociabilidade ou obrigatoriedade de um determinado nível estabelecido para um critério.

QUADRO 1 - Graus de flexibilidade utilizados e respectivo nível de negociação.

Cod.	Flexibilidade	Nível de Negociação
F0	Nula	Imperativo
F1	Fraca	Pouco Negociável
F2	Média	Negociável
F3	Forte	Muito Negociável

Os níveis cuja flexibilidade é nula, vão impor soluções não permitindo a negociação que acontece nos de flexibilidade menos rígida, podendo portanto os primeiros ter uma incidência mais directa no custo final do produto. Apresentamos um excerto do CEF referente à necessidade funcional 7 (deslocar-se entre-linhas).

QUADRO 2- Excerto do CEF: Função 7. - Deslocar-se entre duas linhas

CRITÉRIO	NÍVEL DESEJÁVEL (nominal)	GRAU FLEXIBILIDADE
parcela:		
- pedregosidade	40-45%	2
- inclinação lateral	10 a 20%	1
- desalinhamento médio das cepas	15cm	0
- distância na linha	0,9 a 1,1m	0
- distância na entre-linha	1,2m	1
- curvatura do bardo	120°	1
- etc...		

Após a apresentação do CEF à indústria (Abril de 1994), foi seleccionada a proposta que o GAF considerou possuir a tecnologia mais adequada para responder ao CEF. A empresa seleccionada, de origem Suíça, passou a integrar o Grupo de Análise Valor (GAV), tendo apresentado um primeiro protótipo preliminar (testado em Setembro de 1994). Entretanto, o GAV considerou necessárias algumas melhorias técnicas e modificação da posição do condutor, da potência do motor e peso do sistema, construindo-se um segundo protótipo prévio que foi testado e publicamente demonstrado, em Maio de 1995.

Os ensaios do segundo protótipo decorreram na Quinta de S. Luiz (operações com alfaías) e na Quinta do Noval (transitabilidade e acesso às parcelas).

São apresentados os resultados preliminares, realizados na Qta. de S. Luiz, de avaliação do desempenho do protótipo, com as alfaías de pulverização, desponta, mobilização do solo e transporte de vindima, face aos níveis desejáveis expressos no CEF,

QUADRO 3 - Características da parcela da Qta. de S. Luiz.

Idade vinha	área	Compasso	Comprimento linhas	Declive	Espaço manobra
35 anos	10 972 m ²	1,5 x 1,1m	cerca de 180 m	25-40%	1,80 m

Para uma maior eficácia no desempenho do protótipo, o perfil original da parcela teve de ser submetida a algumas alterações recorrendo a mão-de-obra e tracção animal. No final obteve-se uma plataforma horizontal entre-linhas pela criação de micro taludes (h<50cm), com rampas de ligação entre patamares consecutivos no final de cada bardo, que permitem a transitividade e manobras do equipamento.

Para comparar os níveis desejáveis expressos no CEF para os critérios estabelecidos para cada função, registaram-se os tempos totais por operação e, em função da área total, calculou-se a Capacidade Efectiva de Campo (Cec), reportando-se esse tempo ao hectare (ha/h). Através da velocidade de avanço médio e da largura de trabalho, calculou-se a Capacidade Teórica de Campo (Ctc): $Ctc = (v \times l / 10)$, (ha/h)

Onde: V= Velocidade de avanço (km/h); l = Largura de trabalho (m)

A razão das duas capacidades, dá-nos a eficiência de Campo (Ec), que traduz a redução de área trabalhada, resultante das perdas de tempo no trabalho não produtivo (tempos de viragem, abastecimento):

$$Ec = \frac{Cec}{Ctc} \times 100 (\%)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 4 são apresentadas as principais características do protótipo utilizado nos ensaios de campo.

QUADRO 4 - Características do equipamento-testado. (ver fig anexa)

EQUIPAMENTO BASE		ALFAIAS	
Motorização	Diesel 2 cilindros. Arrefecimento a água. Potência 24cv. Injecção indirecta	Cavadeira	Montada sob placa de elevação hidráulica amovível. Profundidade de trabalho regulável e largura de trabalho de 65cm.
Transmissão	Totalmente hidrostática	Transp. vindima	Capacidade total de 200 kg (8 caixas). Alternativamente pode ser equipado com caixa (100x70x60cm)
Comandos	Alavanca com funções avanço/recuo e esquerda/direita. Sistema de comando proporcional progressivo. Posto de condução reversível	Pulverizador	Turbina com diâmetro de 500mm; placas orientáveis; 8 jactos obturáveis. Débito de 550 litros/ha com bicos de 0,8mm de diâmetro. Comando de pressão constante por electro-válvula de fecho
Peso / dimensões	560 kg; 1,87m x 0,65m	Máquina de desponta	Montagem frontal com controlo hidráulico de altura, largura, elevação e inclinação. Corte vertical com lâminas alternativas e horizontal com facas rotativas
Locomoção	Rastos de borracha com roletes de apoio. Velocidade máxima de 4,5km/h (avanço/recuo)	Outros	Embora não testados, neste protótipo podem ainda ser acoplados: triturador de sarmentos; máquina de pré-poda, lâmina frontal e máquina de desponta pendular

Os encargos com a preparação prévia da parcela são analisados no quadro seguinte.

QUADRO 5 - Custos de preparação do solo por hectare (valorização a preços correntes na Região)

OPERAÇÃO	TRACÇÃO ANIMAL		MÃO-DE-OBRA		CUSTO TOTAL
	Horas	Custo	Horas	Custo	
Mobilização	22	15.400\$	—	—	15.400\$
Nivelamento	—	—	427	170.800\$	170.800\$
Rampas de acesso	—	—	36	14.400\$	14.400\$
TOTAL	22	15.400\$	463	185.200\$	200.600\$

A utilização de uma lâmina frontal no protótipo é susceptível de originar uma redução nos custos/ha referentes à preparação prévia e, sobretudo na manutenção anual dos micro terraços e rampas de ligação.

QUADRO 6 - Tempos de trabalho e eficiência nas operações testadas

OPERAÇÃO	Tempo Manobras		Tempo de Trabalho				UNIDADES: horas e 1/10 hora		
	Total	Média	Total	Cec	Ctc	Ec	Velocidade	Consumo Gasóleo	
	%	seg	h/ha	ha/h	ha/h	%			
Cavadeira	5.4	21.5	6.8	0.15	0.17	86	1.14	1.82	18.52
Pulverização	22.7	41.0	1.9	0.54	0.59	91	3.96	2.69	5.47
Desponta	2.5	36.1	22.5	0.04	0.18	24	1.20	1.23	27.8
Transporte de vindima	—	20.3	—	—	—	—	4.92	1.32	—

Ecl - Resultados referentes a vinhas mecanizadas-Vinha "ao alto" e Patamares

Com as alterações da parcela, as velocidades de avanço em todas as operações testadas, estão dentro dos valores estabelecidos no CEF. Verifica-se uma elevada eficiência de campo nas operações de mobilização de solo e pulverização, compatível com as obtidas nas actuais vinhas mecanizadas.

O equipamento de desponta disponível apenas permite a utilização de 1 lâmina de corte vertical e outra horizontal, com ajustamento estático, que originam respectivamente uma dificuldade de ajuste em zonas irregulares e eficiência de campo baixa por exigir uma dupla passagem em cada bardo. A utilização de uma máquina de desponta pendular, poderá ser uma solução para os problemas referidos na realização desta tarefa.

A título indicativo, apresentamos os custos e equipa de trabalho actualmente utilizada para a realização de um tratamento fitossanitário na parcela onde se realizaram os ensaios. Todavia, a comparação dos custos entre a situação actual e com protótipo, não é possível por não existir ainda um preço de série para este último. Há, porém, a referir que a autonomia quer de combustível, quer de calda para a realização dos tratamentos com a utilização do protótipo, origina uma redução da quantidade de mão-de-obra nos transportes.

QUADRO 7- Situação actual. Equipa de trabalho, duração e custo de tratamento

FUNÇÃO	UNIDADES: horas e 1/10 hora		
	MÃO-DE-OBRA		
	Nº de Pessoas	Nº de Horas	Custo
Atomizadores de dorso	6	20,4	8.160\$
Transporte de calda	9	30,6	10.098\$
Transporte de combustível	1	3,4	1.360\$
TOTAL	16	54,00	19.618\$
Duração da operação para a equipa de trabalho 3,4 h			

A utilização da máquina origina uma modificação significativa na actual organização do trabalho em determinadas operações que por este motivo, ou por se encontrarem fora da época normal da sua realização, não se poderam comparar com o protótipo (vindima). Para esta operação a produtividade média de transporte no dorso situa-se na ordem dos 1400 kg/dH. Tendo em atenção as velocidades de avanço conseguidas na simulação do transporte com 200 kg, com uma organização do trabalho adaptada ao protótipo testado, prespectiva-se um aumento da produtividade e condições de trabalho nesta operação para vinhas tradicionais.

NOTA FINAL

Nas vinhas tradicionais existentes, é indispensável uma adaptação recíproca da vinha e da máquina e a continuação dos ensaios em parcelas diferenciadas, onde se possam testar as inovações sugeridas a nível do equipamento e racionalização dos trabalhos preparatórios, de modo a poder julgar da sua validade circunstancial.

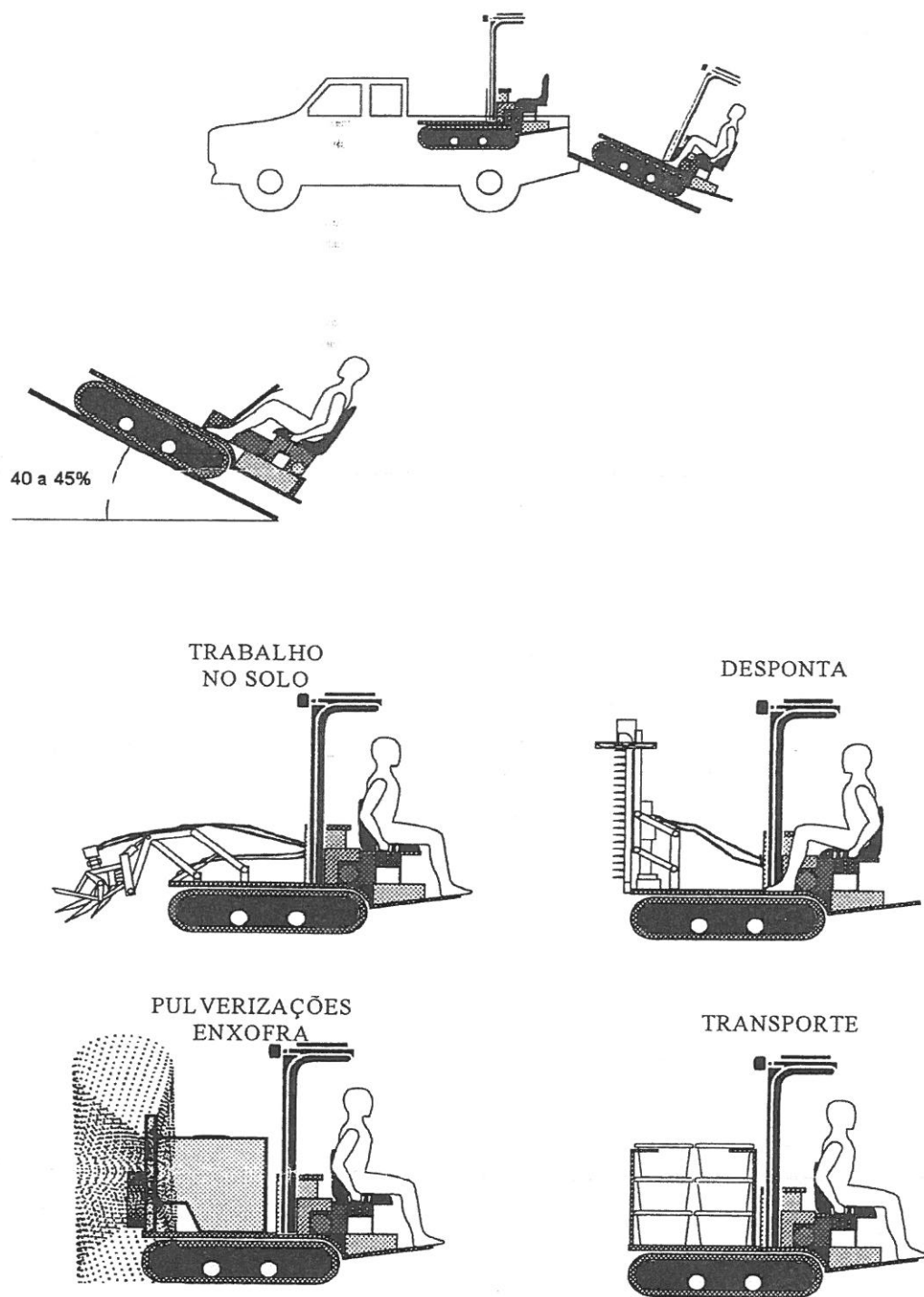
A possibilidade de redução tanto no tempo necessário à operação como na mão-de-obra necessário e pela diminuição do esforço físico, demonstram o interesse prático do protótipo na mecanização das operações deste sistema de implantação potente em termos de controlo de erosão e elevadas densidades de plantação. Como sistema potencial de reestruturação será fundamental a introdução prévia de áreas piloto em que se realizarão trabalhos de âmbito mais alargado do que a mecanização.

Esta linha de trabalho terá seguimento sob um novo projecto de I&D, em que será fabricado num protótipo final e uma pré-série em que o GAV apontará ideias e soluções teóricas, tendo em consideração o valor e os custos globais para a obtenção de um sistema que também no preço, venha a cumprir o estabelecido no CEF.

BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO J., 1991. Contribuição para a motorização da vinha na Região Demarcada do Douro. Relatório Final de Estágio. Vila Real. UTAD.
- BIANCHI DE AGUIAR, F., 1987. Cultura da Vinha em Terrenos de Encosta. Alternativas para a sua implantação. Vila Real. UTAD.
- COSTA, V. G., 1986. Contribuição para o Conhecimento e Determinação do rendimento do trabalho e dos Encargos Variáveis de Exploração na Viticultura Duriense. Relatório Final de Estágio. Vila Real. UTAD.

ANEXO: Representação esquemática do equipamento utilizado nos ensaios.



AGRADECIMENTOS

Aos Engenheiros, José Guerra, José Azevedo, Santos Teixeira e Senhor Nápoles de Carvalho pela participação na elaboração do CEF.

Às empresas Barros, Almeida & C^a-Vinhos, SA e Quinta do Noval-Vinhos, SA, pelo apoio logístico à realização dos ensaios de campo.

Ao Engenheiro José Eduardo Costa (Quinta do Noval) e Prof. Fernando Santos (UTAD), pelo apoio prestado à realização dos ensaios

À Firma Chappot pela cedência do protótipo e ao seu Técnico-Operador, Senhor Seabra Martins.

ANEXO D

Especificações trator vinhateiro New Holland TK4020V

MODELOS	TK4020V	TK4020F	TK4030V	TK4030F	TK4030
Motor da New Holland*	F5C	F5C	F5C	F5C	F5C
N.º de cilindros/Capacidade/Válvulas/Nível de emissões	4/3200/2/Tier 3	4/3200/2/Tier 3	4/3200/2/Tier 3	4/3200/2/Tier 3	4/3200/2/Tier 3
Admissão	Turboalimentado	Turboalimentado	Turboalimentado	Turboalimentado	Turboalimentado
Intercooler	●	●	●	●	●
Mistura de biodiesel aprovada	B100**	B100**	B100**	B100**	B100**
Potência nominal do motor ISO 14396 - ECE R120 (kW/CV)	48/65	48/65	57/78	57/78	57/78
Velocidade nominal do motor (rpm)	2300	2300	2300	2300	2300
Binário máx. ISO 14396 a 1300 rpm (Nm)	290	290	330	330	330
Reserva de binário (%)	46	46	39	39	39
EGR interna	●	●	●	●	●
Método de refrigeração	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Sistema de filtro do ar Power Core	●	●	●	●	●
Consumo mínimo de combustível (g/kWh)	225	225	223	223	223
Capacidade do depósito de combustível (litros)	83	83	83	83	83
Intervalo de manutenção (horas)	500	500	500	500	500
Caixa de velocidades					
Alavanca Steering-O-Matic Plus com retorno à posição central***	O	O	O	O	O
Tipo de embraiagem	Monodisco	Monodisco	Monodisco	Monodisco	Bidisco
Inversor (D x T)	8 x 8	8 x 8	8 x 8	8 x 8	8 x 8
Velocidade mín./máx. (km/h)	1,6 / 11	1,6 / 11	1,6 / 11	1,6 / 11	1,7 / 12
Super-redutor (D x T)	16 x 8	16 x 8	16 x 8	16 x 8	16 x 8
Velocidade mín./máx. (km/h)	0,4 / 11	0,4 / 11	0,4 / 11	0,4 / 11	0,4 / 12
Tomada de força					
Velocidade standard (rpm)	540/540E	540/540E	540/540E	540/540E	540/540E
Sistema hidráulico					
Elevação mecânica com sistema Lift-O-Matic™ Plus	●	●	●	●	●
Capacidade de elevação máxima nas rótulas (kg)	3535	3535	3535	3535	3720
Caudal da bomba (l/min)	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5
N.º máx. de válvulas remotas traseiras	4	4	4	4	4
Direção					
Steering-O-Matic Plus com sistema Full Drive***	●	●	●	●	●
Ambiente de trabalho					
Banco com suspensão	●	●	●	●	●
Arco rebatível	●	●	●	●	●
Rastos, dimensões e pesos					
Versão R-Track (Rastos de borracha) (Largura)	–	o (300 mm)	–	o (300 mm)	–
Sapatas 250 mm (Cat. 125 mm) (nº de elos)	● (35)	–	o (35)	–	–
Sapatas 270 mm (Cat. 140 mm) (nº de elos)	–	o (32)	● (32)	–	–
Sapatas 300 mm (Cat. 125 mm) (nº de elos)	–	● (35)	–	–	–
Sapatas 310 mm (Cat. 140 mm) (nº de elos)	–	o (32)	–	● (32)	–
Sapatas 350 mm (Cat. HD 140 mm) (nº de elos)	–	–	–	–	● (33)
A Distância entre eixos com sapatas STD (mm)	1350	1350	1350	1370	1380
Área de contacto dos rastos com sapatas STD (cm²)	6705	8046	7140	8494	9632
B Bitolas (mm)	900	1000	900	1000	1100
C Largura máx. com sapatas STD (mm)	1150	1300	1170	1310	1450
D Comprimento máx. (mm)	3173	3173	3173	3173	3173
E Altura do banco (mm)	980	980	980	1000	1000
F Altura da barra de segurança (mm)	2079	2079	2079	2096	2116
Peso em ordem de marcha (kg)	3270	3340	3280	3360	3580

* Desenvolvido pela FPT - Fiat Powertrain Technologies ** Dependente das condições de trabalho *** Disponível a partir de Outubro 2010 ● De série ○ Opcional – Não disponível

